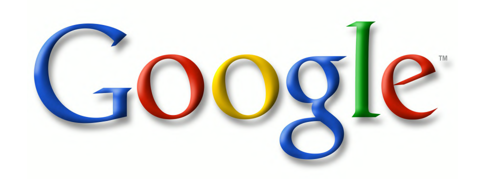
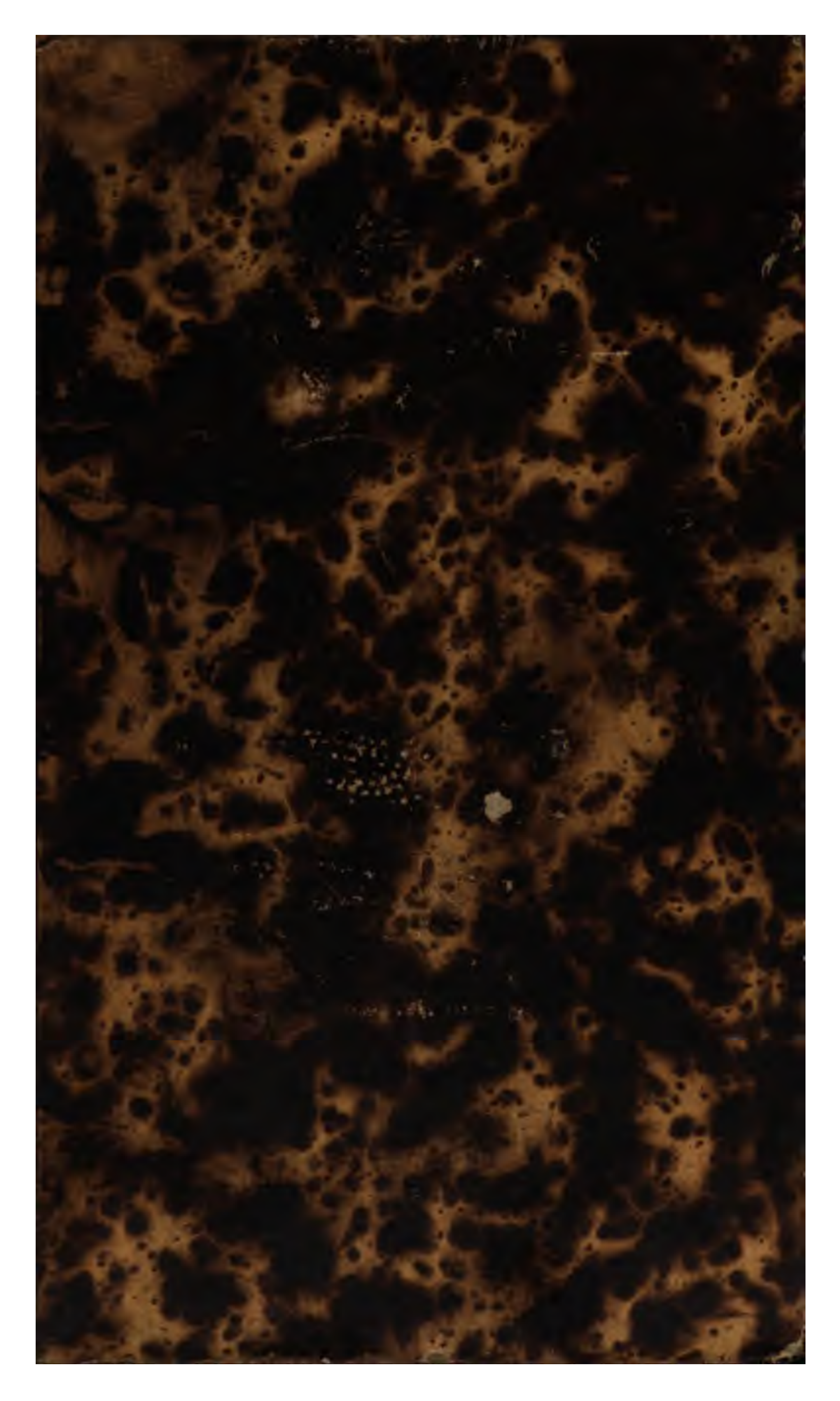
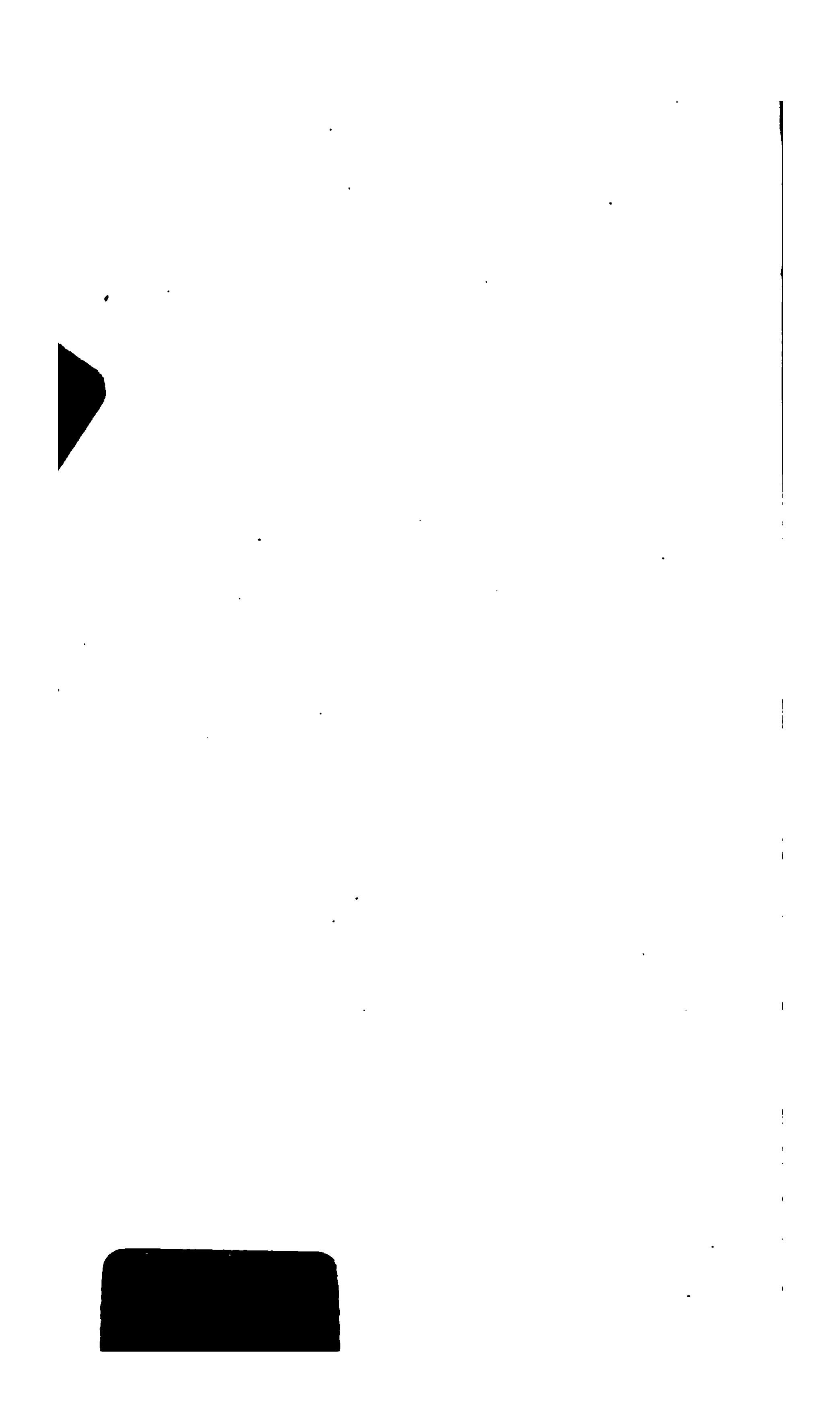
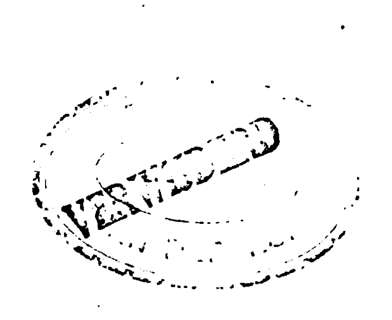












JOURNAL

DES ARMES SPÉCIALES.



3. — JANV., FÉV. ET MARS 1862 — 2 [illegible]



JOURNAL

DES

ARMES SPÉCIALES

ET DE

L'ÉTAT-MAJOR

RECUEIL SCIENTIFIQUE

Du Génie, de l'Artillerie, de la Topographie Militaire, etc., etc.

PUBLIÉ SUR LES DOCUMENTS FOURNIS PAR LES OFFICIERS
DES ARMÉES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

PAR J. CORRÉARD,
Ancien Ingénieur.

CINQUIÈME SÉRIE. — TOME V. — 30e ANNÉE.
15 Janvier, 15 Février et 15 Mars 1863.
Nos 1, 2 ET 3.

PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE, MARITIME ET POLYTECHNIQUE
J. CORRÉARD, éditeur,
PLACE SAINT-ANDRÉ-DES-ARTS, 3.
Maison de la Fontaine Saint-Michel.

1863

JOURNAL DES ARMES SPECIALES.

ARMES DE JET
ET COMPOSITIONS EXPLOSIVES,

COMPRENANT QUELQUES NOUVELLES RESSOURCES DE GUERRE AVEC DES RENSEIGNEMENTS SPÉCIAUX SUR L'ARTILLERIE RAYÉE, DANS SES PRINCIPALES VARIÉTÉS,

Par **J. SCOFFERN**, ex-professeur de chimie au collége de médecine d'Aldersgate, 4e édition; traduite de l'anglais par **F. J. A. MARTENET**, chef d'escadron d'artillerie.

(Voir le n° de novembre-décembre 1862, page 411.)

DE L'APPLICATION DE LA POUDRE A CANONS AUX MINES MILITAIRES.

Mes observations sur ce sujet se réduiront à un petit nombre, parce que les principes mêmes des opérations de mines, en ce qui concerne le rôle de la poudre, sont assez simples, quoique l'application de ces principes à la pratique exige beaucoup de connaissances en mathématiques, en chimie et en mécanique. Les ingénieurs modernes,

particulièrement en France, ont consacré une attention toute spéciale à ce sujet, et ont calculé les effets de la poudre à différentes profondeurs et dans différents sols, avec beaucoup de soin. En Angleterre, la poudre dont on fait usage pour les opérations de mines ne diffère pas de celle qu'on emploie pour les autres services ; sa force immédiate ou, autrement dit, sa rapidité d'inflammation pourrait cependant être diminuée avec beaucoup d'avantage. J'ai déjà remarqué qu'une poudre peut s'enflammer si rapidement, que sa puissance, comme agent de propulsion peut en être essentiellement altérée, parce qu'une certaine continuité d'action est désirable ; cette remarque s'applique avec plus de raison encore au cas que nous considérons, et de là, ce fait si bien connu de nos sociétés de mines, que la poudre humide est plus efficace pour faire sauter les roches que la poudre sèche.

Il ne m'appartient pas d'entrer dans le détail des opérations de mines militaires ; il est probable que la seule partie de ce sujet intéressant pour la généralité des lecteurs, c'est la manière de communiquer le feu à la charge. Cela se faisait au moyen d'une très-grosse mèche ou conducteur fait de bou-

dins en toile remplis de poudre ; mais aujourd'hui, pour cet objet, la science militaire a mis à profit la pile voltaïque. Cet instrument offre beaucoup d'avantage, là où on peut s'en servir. La charge, quel que soit l'éloignement de l'opérateur, est enflammée instantanément ; les agents de communication étant de simples fils métalliques (1), sont plus aisément disposés à terre que les tuyaux en toile remplis de poudre dont on se servait autrefois pour cette opération. Ce sont deux grands

(1) La fusée dite de Statham fut bientôt adoptée à la place de la fusée avec fil de platine, comme étant plus délicate, mais une fusée plus récente, inventée par M. Abel, a la prétention de lui être supérieure. La fusée de Statham peut être considérée comme basée sur l'interruption d'un circuit par le sulfure de cuivre, et celle de M. Abel sur l'interruption d'un circuit par le phosphure de cuivre.

M. Statham ayant trouvé qu'une enveloppe en gutta-percha sulfurée forme au bout de quelques mois, au contact du métal, une couche de sulfure de cuivre suffisante pour conduire le courant sous l'action duquel elle s'enflamme, eut l'idée de profiter de cette propriété pour établir une fusée d'amorce. En effet, si à une partie quelconque du circuit on coupe la moitié supérieure de l'enveloppe, puis que dans l'échancrure ainsi formée, on enlève un morceau de fil de cuivre de 6 millimètres de longueur, le courant passant par le fil de cuivre, se trouvant alors interrompu, passe par le sulfure de cuivre qu'il fait entrer en ignition. D'où il résulte que si,

avantages, et la pile voltaïque n'est pas difficile à manier.

Il peut ne pas être inutile de faire connaître de quelle manière l'influence voltaïque est appliquée dans ce cas particulier; l'explication est simple : quand le circuit électrique est complété par un conducteur métallique suffisamment petit, ce dernier s'échauffe; plus petit encore dans des limites convenables, il devient rouge ou rouge blanc, particulièrement si la communication métallique est établie avec du platine qui est très-mauvais conducteur de calorique et par conséquent prend rapidement une température très-élevée. Supposons donc qu'on veuille mettre le feu à un fourneau,

dans la cavité ainsi creusée, on met un corps inflammable, comme du coton-poudre ou de la poudre à canon, ce corps prend feu. Tel est le principe de la fusée de Statham.

La matière qui dans la fusée de M. Abel remplace le sulfure de cuivre, et agit de la même manière que lui, se fait en réduisant en poudre aussi fine que possible, le sous-phosphure de cuivre, le sous-sulfure de cuivre et le chlorate de potasse, et en mêlant ensuite ces substances pulvérisées dans la proportion de 10 parties de la 1re, 45 de la 2e, et 15 de la 3e, en les incorporant les unes aux autres dans un mortier, avec addition d'une quantité d'alcool suffisante pour humecter complètement la masse. Le mélange est ensuite séché avec soin.

en se servant de la pile de Volta, il suffit de traverser une cartouche avec un morceau de fil de platine dont chaque bout est relié à un fil de cuivre d'un diamètre plus fort, qui, de chaque côté, est prêt à communiquer avec les pôles ou, comme on les nomme maintenant, l'*Anode* et le *Cathode* d'une pile voltaïque. Cette communication peut être établie en un instant, à un commandement. Alors, immédiatement le fil de platine devient rouge et la cartouche et tout le fourneau font explosion, ouvrant un large cratère dans le sol, et détruisant, en les faisant sauter, les travaux et les troupes qui peuvent se trouver à sa surface.

L'application de l'électricité voltaïque a été peut-être encore d'une plus grande utilité pour mettre le feu aux fourneaux sous-marins, opération qui, avant l'introduction de cette méthode, était exécutée par des moyens beaucoup plus incommodes.

HISTOIRE ET EMPLOI DES PETITES ARMES A FEU.

Depuis longtemps déjà les canons, les mortiers et autres pièces d'artillerie à feu avaient supplanté

la baliste, la catapulte, le bélier et autres engins mécaniques de guerre, quand l'arc long, l'arbalète et la fronde maintenaient encore leur empire sans conteste. La raison de ce fait n'est pas difficile à trouver; c'est que la construction de petites armes plus efficaces que notre arme nationale ***l'arc long***, ou que l'arbalète de l'Europe continentale, n'était pas chose facile. L'artillerie mécanique des temps anciens était sans effet ou exigeait, pour être puissante, une vaste science mécanique et une grande dépense de matériaux; son transport était toujours extrêmement difficile, même pour le service des siéges et des places; en campagne, cette difficulté rendait son emploi presque inconnu. Au contraire, nos ancêtres étaient beaucoup mieux montés en petites armes de jet; j'ai déjà parlé avec quelques développements de la force de l'arc et cité quelques exemples particuliers de sa puissance et de sa commodité. Nous avons vu qu'il était, entre les mains robustes de nos anciens archers, une arme de jet très-rapide et très-efficace; le lecteur apprendra encore mieux à apprécier ses qualités précieuses relatives, s'il veut faire attention aux imperfections des petites armes à feu de nos pères. A mesure que la fabrication des petites armes à feu se perfec-

tionnait, les avantages qu'on pouvait retirer de cette espèce d'arme de jet ne pouvaient guère manquer d'être appréciés. Néanmoins, le préjugé, entre autres causes, réagit fortement contre l'application générale des petites armes à feu. En effet, le préjugé contre les *canons* eux-mêmes fut très-fort dans le principe; les chevaliers avec leurs armures de fer étaient depuis longtemps parvenus à garantir leurs corps contre les armes de jet mécaniques: une bonne armure était généralement à l'épreuve des flèches; c'étaient leurs chevaux, qui, moins heureux, recevaient les traits barbelés. Ces animaux, exaspérés par la douleur, devenaient furieux et désarçonnaient leurs cavaliers; les preux roulaient dans la poussière et se retiraient du champ de bataille avec quelques contusions insignifiantes, pour recommencer cette joûte innocente un autre jour (1). L'introduction du canon fut un sérieux

(1) Dans plusieurs batailles de cette époque, il n'y eut pas un chevalier de tué: lorsqu'ils étaient démontés, il était difficile de trouver un joint par où pénétrer avec la *miséricorde* ou dague, et à la bataille de Fornoue, sous Charles VIII, un certain nombre de chevaliers italiens ayant été désarçonnés, on ne put les tuer qu'après les avoir brisés, comme autant de homards, avec des haches de bûcheron. Ce fait justifie la remarque de Jacques Ier: que l'armure défensive était une

coup porté à la chevalerie; elle protesta hautement contre l'infâme salpêtre, elle se déchaîna à outrance contre une manière si peu chevaleresque de combattre, mais l'opinion publique fut plus forte que les préjugés. — Le sentiment que la guerre, pour être conséquente avec son véritable caractère, ne devait pas dégénérer en une lutte courtoise, finit par prévaloir. Alors beaucoup de ces chevaliers gourmés, voyant que la guerre était devenue un si grossier passe-temps, se retirèrent à petit bruit des rangs de l'armée et se livrèrent à des arts plus dignes de leur noble sang; d'autres s'habituèrent au canon et coururent leurs chances d'être tués. Mais lorsque le malencontreux mousquet commença à supplanter l'arc, quelle terrible innovation ce fut alors! Les chevaliers firent retentir bien haut leurs malédictions, et les fabricants d'armures murmurèrent tout bas en voyant poindre dans un avenir prochain la ruine de leurs occupations. Pendant un certain temps, on augmenta la force des armures; les plastrons acquirent l'épaisseur d'une enclume; les haumes devinrent comme des marmites de cuisine, les chevaux plièrent,

double protection, — empêchant celui qui la portait, à la fois d'être blessé et de blesser les autres.

chancelèrent sous le poids de leurs charges, et il n'était pas rare de voir des chevaliers suffoqués dans le combat. Il était inutile d'affecter plus longtemps le dégoût des innovations; les beaux jours de la chevalerie étaient passés; les chevaliers sentirent qu'ils ne constituaient plus la force des armées, et que leurs armures n'étaient plus une sauvegarde contre les blessures et la mort. Alors, peu à peu, les armes à feu à main devinrent d'un usage universel, le soldat rejeta son armure, le chevalier abandonna sa lance; des évolutions rapides succédèrent à la charge lente mais puissante d'autrefois, et tout le système de la guerre fut modifié.

VARIÉTÉS DE PETITES ARMES CONSIDÉRÉES INDIVIDUELLEMENT.

Sans nul doute, bientôt après leur découverte, les canons furent, par circonstance, réduits de calibre de manière à les approprier à des cas particuliers; à la longue, après avoir passé par beaucoup de transformations et de réductions graduelles, un canon réduit devint simplement une arme à feu à main. Il est impossible de dire com-

ment, quand et où ces petites armes à feu furent inventées, mais nous connaissons à peu près l'époque de leur introduction dans les différentes armées européennes. « Ainsi elles paraissent avoir été introduites dans l'armée anglaise en 1471, lorsque Édouard IV, débarquant à Ravenspur, dans le Yorkshire, amena avec lui, entre autres forces, 300 Flamands armés de canons à main. C'est cinquante ans avant la date assignée habituellement à leur introduction, M. Anderson et d'autres écrivains plaçant cet événement au siége de Berwick en 1521, après lequel elles furent généralement adoptées en Angleterre (1). »

On dit que les Espagnols se servirent de petites armes à feu, en 1455, sous Philippe II ; mais elles étaient d'un modèle très-lourd. On avait toujours considéré comme difficile de protéger les archers contre une charge de cavalerie bien résolue, et la difficulté fut considérablement augmentée quand il s'agit d'hommes armés de mousquets. Les armes et les munitions d'un archer étaient légères, ses

(1) Wilkinson, sur les machines de guerre. (Voir aussi Anderson, *Histoire du commerce*, vol. 1, p. 351 ; Leland, *Recueils*, vol. 1, p. 721 ; Grose, *Histoire des armées anglaises*, vol. 1, p. 160).

flèches se succédaient rapidement, et il n'avait à craindre que le bris de son arc ou de sa corde (1). Il en était tout autrement du mousquetaire; son arme était très-lourde, excessivement difficile à charger et à décharger, et continuellement sujette à rater. Après avoir fait feu, un corps armé de mousquets se trouvait un certain temps sans défense, et la cavalerie pouvait fondre sur lui et le mettre en déroute. C'était un désavantage marqué qui pesait sur le mousquetaire, et auquel on chercha à remédier par divers moyens, dont le plus ordinaire consistait à faire de la fourchette d'appui du mousquet une arme défensive, en lui adaptant une dague cachée qui sortait en touchant un ressort, ou en fixant une pique à son extrémité. Les fourchettes ainsi armées furent appelées soies suédoises ou soies de cochon.

Le plus grand changement que les armes à feu

(1) Par suite, il n'était pas extraordinaire d'avoir deux cordes à son arc, et de là notre proverbe vulgaire. (Voir Toxophilus d'Ascham; Grose, vol. 1, p. 165; de Limière, *Histoire de Louis XIV*, vol. VI, p. 88; Strutt, *Mœurs et Coutumes*, vol. VIII, p. 91; Turner, *Pallas Armata*, p. 176,

Pour un parallèle des avantages de l'archerie et des armes à feu, Humfrey Bervick, *Discours sur la force et l'effet de toutes les armes à feu à main;* Smythe (sir John, Knt.) *Sur*

aient subi, est relatif à la manière d'y mettre le feu. Dans le principe, elles n'avaient pas de platine, et on y mettait le feu au moyen d'une mèche qu'on tenait à la main; ensuite vint la platine à mèche, puis la platine à rouet ou à pyrite, puis la platine à pierre, et enfin la platine à percussion, sous une de ses formes très-variées. Celle-ci semble la limite extrême de la perfection et ne laisser rien à désirer.

La platine à mèche était un moyen simple et facile à trouver, pour porter le bout allumé d'un morceau de corde trempé dans du nitre, sur la poudre contenue dans un petit bassinet communiquant avec la charge. En somme, ce moyen de mettre le feu était très-efficace, et est encore employé par beaucoup de nations de l'Orient. Mais la mèche est exposée à être éteinte par la pluie, et la grande proximité où elle est nécessairement de la poudre la rend dangereuse. Les anciens mousquetaires européens étaient généralement dans l'usage de transporter leur mèche allumée dans un petit cylindre en fer percé de trous; mais, par les temps

la force et l'effet des armes, Londres 1590; sir Roger William, *Bref discours sur la guerre*, Londres 1590; et les différents traités sur l'archerie déjà cités.

pluvieux, ils la portaient dans leurs chapeaux.

La platine à rouet ou à pyrite semble avoir été introduite en Angleterre vers le règne de Henri VIII. Elle continua à être en usage jusqu'au temps de Charles II, où la platine à pierre devint d'un usage général. Cette platine à rouet, maintenant surannée, mais autrefois universellement employée dans les armées européennes, mérite une description. On peut retrouver l'idée première de cette invention, à Dresde, dans une vieille arquebuse, *Buchse*, qui porte un morceau de pyrite maintenu en face de la lumière, lequel est destiné à être attaqué avec une lime pour en faire jaillir des étincelles et mettre le feu à la poudre. Dans sa forme perfectionnée, elle consiste dans une roue d'acier présentant de petites gorges, sur l'axe de laquelle est attachée une chaîne ou tourniquet et un fort ressort; celui-ci étant bandé au moyen d'une *clé*, est retenu dans cette position par un arrêt qui est en rapport avec la gâchette ou détente. Un morceau de pyrite est solidement fixé par une vis entre les mâchoires du chien, et lorsqu'on abat celui-ci, la pyrite s'appuie sur le pourtour de la roue, qui pénètre en partie dans le bassinet par une échancrure. En faisant jouer la détente,

la roue échappe, et, tournant rapidement sur elle-même, en contact avec la pyrite, elle produit une série d'étincelles sur le bassinet (1).

Les platines à pierre paraissent avoir été introduites dans nos armées vers la troisième ou la quatrième année du règne de Guillaume III (1692-1693), époque depuis laquelle elles restèrent en usage, avec très-peu de changements, jusqu'à l'époque de la découverte du système à percussion, par le révérend M. Forsyth. Il est complètement inutile de décrire une invention aussi connue que la platine ordinaire à pierre, comme il est inutile aussi de décrire la platine ordinaire à percussion d'aujourd'hui (2), quoiqu'elle ait subi beaucoup de

(1) Wilkins. C'est probablement peu de temps après l'introduction de la platine à rouet, que les fusils de chasse devinrent à la mode. Benvenuto Cellini rapporte qu'étant à Rome vers l'âge de 23 ans (c'est-à-dire vers 1520, Oc. D.), il s'amusait à tirer des ramiers avec un fusil. Il indique qu'il n'employait qu'une seule balle. Meyrick, *Histoire des petites armes à feu.*

(2) Il peut être bon de dire que la poudre primitivement employée pour charger les capsules à percussion était un mélange de chlorate de potasse et de soufre. Mais on trouva qu'elle détériorait ou corrodait la platine, et maintenant la *poudre anti-corrosive*, ou mélange au fulminate de mercure, est universellement employée.

changements de forme depuis la découverte de Forsyth. Il suffit de dire que les avantages du système à percussion sur celui à pierre sont maintenant universellement établis, et des mousquets construits d'après le système à percussion sont ou déjà introduits ou sur le point de l'être dans toutes les armées européennes (1).

J'ai, jusqu'à présent, désigné les petites armes, par opposition à l'artillerie, par le terme général de *mousquet* ; mais c'était simplement pour plus de commodité, les noms qui ont été donnés aux armes à feu à main sont très-variés, quelques-uns méritent d'être cités. Les premières petites armes à feu furent appelées *canons à main*, et tirées sur un support, en y mettant le feu avec une mèche qu'on tenait à la main. Lorsque le poids de ces armes fut réduit et qu'on leur eut ajouté une platine, de manière

(1) Toutes les nations de l'Europe, à l'exception de la Prusse, se servent de la capsule à percussion. L'agent explosif du fusil prussien à aiguille (zünd nadel gewehr), est de la poudre fulminante logée dans la base du projectile. Les Américains emploient dans le service de terre et de mer le procédé Maynard, qui consiste en une spirale plate garnie de mouches détonnantes qui se déroulent, et dont une vient, à chaque bandé, se placer immédiatement au-dessus de la cheminée.

qu'elles purent être tirées sans support, elles furent appelées calivers, coulevrines.

On suppose que la plus ancienne espèce d'arme à feu montée sur un bois fut l'*arquebuse* (1), et son invention est placée vers l'an 1500. Ces armes succédèrent aux canons à main ou coulevrines, dans le service en campagne, et restreignirent l'usage de ces dernières au service des siéges. Ces canons à main furent ensuite appelés *arquebuse à croc* (arquebuse avec crochet), parce qu'elles étaient pourvues d'un accessoire de ce genre. Dans nos Statuts (ordonnances et réglements), elle était appelée arquebuse, haquebus et hagbut. Le mot *mousquet* fut, dans l'origine, appliqué à une arme à feu plus grosse et plus lourde que la coulevrine, et, par conséquent, posant sur un support lorsqu'on la tirait. *Le pétrinal ou poitrinal* était une arme

(1) Il ne paraît pas qu'il y ait des raisons bien fondées de considérer l'arquebuse et la coulevrine comme des armes différentes. Beaucoup de personnes supposent, (dit Berwick, p. 8), que l'arme appelée communément coulevrine est autre chose qu'une arquebuse, tandis que, effectivement, ce n'est qu'une arquebuse qui a seulement un plus fort calibre que l'autre, ce qui fait que les Français l'appellent une *pièce de calibre*, ce qui revient à dire une pièce d'un plus grand diamètre.

plus courte que celles qui viennent d'être citées, et d'un plus fort calibre; on la tirait en l'appuyant contre la poitrine, de là son nom.

Les pistolets sont ainsi appelés, de Pistoïe, en Étrurie, où ils furent fabriqués, antérieurement à 1544, sous le règne de François Ier. Les cavaliers allemands appelés *Reiters* (Reïtres), furent les premiers qui employèrent le pistolet avec quelque extension, ayant abandonné, pour cette arme, la lance dont ils s'étaient longtemps servis, abandon pour lequel ils encoururent beaucoup de blâme et d'injures, l'innovation étant considérée, jusqu'à un certain point, comme déshonorante et contraire aux lois admises par la chevalerie (1).

Anciennement, les armes à feu, grosses et pepetites, furent employées non-seulement à lancer des boulets, mais des flèches en bois appelées *sprites* (bourgeons) et des carreaux en acier (2). Le mousquet moderne est si évidemment le derivé des anciennes petites armes à feu, que toute description de sa construction devient inutile.

(1) La carabine ne pourrait-elle pas être entièrement abandonnée, et avec avantage, en faveur du pistolet-revolver?

(2) Voir sir Richard Hawkins, *Récit de son voyage dans la mer du Sud*, A. D. 1591, p. 164, section XI, où il parle de flèches tirées avec succès avec le mousquet.

Cependant je ne dois pas laisser passer, sans quelques observations une arme qui a acquis autant de célébrité, et qui figure aussi largement dans notre histoire militaire que le *Brown Bess* (fusil de munition ordinaire anglais). Le dernier perfectionnement destiné à être appliqué à cette arme à feu renommée était la platine à percussion, au delà, il n'y a plus rien, si on conserve l'âme lisse qui est le signe constitutif du mousquet.

Avant tout, il est nécessaire qu'une arme à feu militaire ne soit pas facilement dérangée. Tout doit être sacrifié à cela.

A quoi servirait au soldat d'avoir une arme, qui, lorsqu'elle est en état, peut être chargée et tirée en trois secondes, si elle est fréquemment dérangée et ne peut plus tirer du tout? On attendait peu du *Brown Bess*, mais il faisait bien ce peu. Le mousquet pouvait faire un bon service aux distances de 100 à 150 yards; à l'exception de sa grossière platine, aucune partie de son mécanisme ne pouvait se déranger ; quoique très-sale, il pouvait encore être chargé, et, dans tous les cas, c'était un bon manche pour la baïonnette. C'est la mode d'injurier Brown Bess, mais je crois que c'est injustement. L'arme à feu qui aida à gagner les ba-

tailles de Malborough et du vieux Frédéric, de Wellington et de Napoléon a bien fonctionné dans son temps. Il n'est ni sensé ni juste d'établir des comparaisons entre Brown Bess et les carabines Minié ou Enfield, ou l'une des nombreuses espèces de carabines construites comme on les construit aujourd'hui. Une comparaison à faire serait celle entre les carabines modernes d'une part, et les carabines anciennes de l'autre ; laquelle comparaison faite, Brown Bess, si c'était un être pouvant raisonner, aurait les rieurs de son côté. Le fait est que l'ancienne carabine militaire se chargeant par la bouche, avec l'usage de la balle sphérique juste au canon et qui ne pouvait être chassée sur la poudre que par un effort considérable, ne fut jamais et ne put jamais être employée généralement par les troupes. Si on eût mis le mousquet de côté, on peut se demander : Qu'eût-on mis à la place ?

Le tableau suivant de tir comparé du vieux mousquet à percussion de 1842 et de la carabine Minié, peut offrir quelque intérêt ; ce tir a eu lieu à Hythe, et a été communiqué à sir Douglas par le colonel Hay. Vingt hommes tirèrent dix coups chacun ; cinq coups en feu de file et cinq coups en feu

de peloton contre une cible haute de 6 pieds et large de 20 : égal au front de onze files d'infanterie ou 22 hommes. Les mousquets étaient à 4 pieds 6 pouces du sol.

Mousquet à percussion, 1842.

DISTANCES.	NOMBRE DE COUPS DANS			COUPS.	
	Noir.	Centre.	Dehors.	Total.	Pour °/₀.
Yards.					
100	7	48	94	149	74.5
200	3	20	62	85	42.5
300	4	9	17	32	16.0
400	2	»	7	9	4.5

Carabine mousquet Minié, 1051.

DISTANCES.	NOMBRE DE COUPS DANS			COUPS.	
	Noir.	Centre.	Dehors.	Total.	Pour °/₀.
Yards.					
100	10	68	111	189	94.5
200	9	47	104	160	80.0
300	6	32	72	110	55.0
400	5	29	71	105	52.5

« Le colonel Hay remarque que les balles des mousquets ordinaires qui ont manqué la cible, ont passé entre 20 pieds et 50 pieds en dehors, tandis que les balles Minié qui l'ont manquée également n'en ont passé qu'à deux ou trois pieds. Le même officier, dans une lettre à l'inventeur, fait observer qu'avec une instruction soignée, les soldats de la ligne pourraient arriver à mettre la moitié des coups dans une pareille cible à 400 yards et les 2/3 à 300 yards.

» Le 17 septembre 1853, à Hythe, l'exercice fut fait avec le mousquet réglementaire par quatre hommes, dont chacun tira dix coups à des distances de la cible variant entre 700 et 200 yards. La cible était longue de douze pieds et haute de six.

» Les hommes avançaient disposés en tirailleurs, suivant le règlement ; ils tiraient à genoux et s'exerçaient à apprécier eux-mêmes les distances qui les séparaient du but. Sur les 40 coups tirés 8 tombèrent dans le noir, 16 dans la partie centrale (un cercle de 6 pieds de diamètre) et 4 au-delà, mais très-près de cette partie centrale ; en tout, 28 coups dans la cible et 12 en dehors. Des coups qui atteignirent la cible, 18 étaient au-des-

sous du centre, et 10 au-dessus ; 16 à droite et 12 à gauche. Le vent était fort et le ciel couvert. Le même jour, semblable exercice fut fait par quatre hommes avec le mousquet à âme elliptique, à la même distance de la cible, les hommes avançant disposés en tirailleurs et tirant à genoux. Sur les 40 coups tirés, 6 tombèrent dans le noir, 22 dans le cercle central et 6 en dehors ; 6 coups seulement manquèrent la cible. Des coups ayant atteint la cible, 25 furent au-dessous du centre et 9 au-dessus ; 15 à droite et 19 à gauche. »

POLARITÉ ET ARMES POLAIRES.

Quel que soit le sujet de nos recherches, il est bon de faire de temps en temps une pause pour réfléchir sur les principes qu'il embrasse.

Les projectiles peuvent, à la rigueur, être divisés en deux classes, d'après la manière dont ils accomplissent leur trajet dans l'air : ils peuvent, comme la flèche, conserver une même extrémité en avant pendant toute la durée de leur trajectoire, et toucher le but d'abord par cette extrémité ; ou bien ils peuvent, comme une pierre lancée avec la main ou un boulet sphérique, gros ou petit, se

mouvoir en présentant un côté ou *tous* les côtés successivement en avant, et frapper le but par une partie indéterminée de leur surface.

Lorsqu'une propriété peut être considérée sous deux faces ou deux aspects, dont l'un est exactement l'inverse de l'autre, les physiciens appellent une pareille dualité, *polarité;* ainsi, on dit que le magnétisme est une dualité des forces polaires. Il y a une extrémité de l'aiguille aimantée qui se tourne vers le nord, il y a aussi une extrémité qui se tourne vers le sud ; de là, la convenance d'appliquer le mot *polaire*.

C'est avec une égale convenance qu'on peut appliquer cette expression aux projectiles. Ceux qui se meuvent dans l'air en conservant toujours une même extrémité ou une même face en avant sont des *projectiles polaires ;* ceux, au contraire, qui ne remplissent pas ces conditions sont des projectiles non polaires.

Cette distinction n'est pas établie dans la seule vue d'introduire un mot nouveau dans le vocabulaire militaire, mais pour simplifier l'étude des projectiles. Sachant si un projectile est polaire ou si, au contraire, il ne l'est pas, nous pouvons mieux l'appliquer à la destination qui lui convient. Ainsi,

à quoi servirait d'armer une flèche d'une pointe barbelée, si nous ne savions pas que la pointe de la flèche frappera la première le but? A quoi servirait-il encore de combiner un obus explosif destiné à être enflammé par la percussion d'une capsule contre le but, si nous ne savions pas d'avance que cet obus, en vertu de sa polarité (comment nous obtiendrons cette polarité, ce n'est pas le moment de le dire), doit frapper le but par la partie coiffée d'une capsule.

La distinction en polaires et non polaires embrasse le plus large principe que je connaisse concernant les projectiles. Lorsqu'il est clairement compris, il montre comment on peut obtenir la plus grande justesse de tir possible de chaque variété de projectile, et nous enseigne dans quelles limites les artilleurs peuvent espérer le succès de l'application des obus à percussion?

On peut difficilement imaginer un meilleur moyen pour montrer ce qui a été fait dans une certaine direction, que de supposer qu'il n'existe rien de fait et qu'il s'agit de le faire.

Supposons donc qu'on donne un fragment de feuille de plomb à quelqu'un, en lui disant de lui donner la forme qui lui paraîtra le plus convena-

ble pour que ce plomb, tiré dans un canon ordinaire ou à âme lisse, se dirige le plus directement possible vers un but donné.

Guidé par cette connaissance des choses ordinaires que nous avons pour la plupart dans une certaine mesure, — nous ne savons pas pourquoi ni comment, — quatre-vingt-dix-neuf personnes sur cent (et je devrais peut-être même ajouter la centième aux autres) façonneront le plomb en sphère ou balle. Une arme à feu ordinaire à âme lisse, grande ou petite, n'est pas ce qu'on peut appeler une arme polarisante, elle ne communique pas à son projectile la propriété de conserver une même extrémité en avant, pendant qu'il parcourt sa trajectoire.

On n'a pas besoin de faire remarquer que jamais une sphère parfaite n'est sortie de main d'homme, ni n'en peut sortir. Il doit toujours y avoir des irrégularités de forme dans les projectiles sphériques, et quand bien même on pourrait obtenir une sphéricité parfaite, il y a des chances énormes en faveur de la supposition, que le métal est plus comprimé dans un endroit que dans un autre, de sorte que le centre de gravité ne correspondra pas au centre de figure de la sphère.

Une démonstration très-élégante de ce qui précède se déduit de l'expérience des boulets de canon flottant dans le mercure, expérience qui est facile à faire. Dans ces conditions, si un boulet n'était pas plus lourd d'un côté que de l'autre, il resterait en équilibre dans toutes les positions. Très peu de boulets, si toutefois il s'en trouvait, satisferaient à cette épreuve.

Cependant, tout défaut de sphéricité ou de correspondance entre le centre de gravité et le centre de figure, affecte plus ou moins, mais proportionnellement à son importance, la marche du boulet : de sorte que si, par exemple, pour démontrer le fait par un cas extrême, on pratique un trou dans un boulet, qu'on bouche cette cavité avec une cheville de bois et que dans cet état on tire le projectile, on verra que l'aberration ou la déviation de la ligne de tir sera en effet très-grande. (Fig. 18).

C'est en partie pour cette raison que les obusiers (toutes choses égales d'ailleurs) ne tirent jamais aussi bien que les canons.

Finalement et comme corollaire de ce qui a été établi ci-dessus, lorsqu'un boulet a été fabriqué aussi exactement sphérique que possible; lorsque

la distribution du métal dans ce projectile a eu lieu de telle sorte que les centres de gravité et de figure, diffèrent aussi peu que possible l'un de l'autre, on ne peut rien faire de plus au projectile pour augmenter sa justesse. L'attention, quant à la pièce avec laquelle il doit être tiré, qu'elle ait l'âme bien unie et aussi peu de vent que possible y contribue encore un peu ; et une chambre ou culasse à chambre, au moyen de laquelle la déflagration de la poudre a lieu juste en arrière du centre du boulet, vient compléter la mesure de justesse de tir dont est susceptible un sphéroïde ou boulet proprement dit, tiré avec un canon non carabiné.

Avant d'aller plus loin, il est bon de faire observer ici que la seule forme de projectile qui, au demeurant, soit susceptible de donner de la justesse avec une arme non polaire, est la forme sphérique.

Le sujet des armes polaires ne peut guère être plus convenablement abordé, ni expliqué que par la toupie qui sert de jouet aux enfants.

Si on donnait une toupie à quelqu'un avec la condition de la lancer de la fenêtre d'un étage supérieur, de telle manière que la pointe de la toupie

touchât la première le sol, — comment s'y prendrait-on ?

D'abord, une toupie, lorsqu'on la lance avec la main ou qu'on la laisse tomber, n'est pas un projectile polaire. Elle peut toucher le sol par la pointe, ou par le côté opposé, ou enfin par toute autre partie de sa surface. Comment peut-elle être polarisée ?

D'abord on peut lui attacher quelque chose qui, en offrant de la résistance à l'air, agira comme un parachute ou guide, rendant ainsi virtuellement, quoique non absolument, la partie de la toupie opposée à la pointe, la partie la plus légère.

Ainsi, une longue plume bien droite pourrait être fixée dans un trou pratiqué à la partie supérieure de la toupie, transformant de la sorte cette toupie en une flèche (fig. 19) ; ou bien plusieurs plumes pourraient être fixées latéralement dans la toupie, comme on le voit ci-contre (fig. 20), la convertissant ainsi en un volant de jeu de raquette. Ou enfin, au lieu de communiquer une légèreté virtuelle à la partie supérieure de la toupie, par le moyen de plumes offrant une résistance à l'air, nous pourrions y fixer une simple baguette en faisant ainsi un projectile composé, plus lourd

d'une manière absolue à un bout qu'à l'autre (fig. 21).

Maintenant, si le lecteur veut bien, pour un instant, faire abstraction des boulets dont la rotation est fondée sur le principe des carabines, il verra que tous les autres projectiles polaires, tant anciens que modernes, doivent leur polarité à des combinaisons se rapprochant plus ou moins des procédés représentés ci-dessus. En effet, le premier convertit à peu près littéralement la toupie en une flèche, et quant au dernier, c'est tout à la fois le type du javelot dans toutes ses variétés et de la fusée de guerre Congrève.

Mais le moyen le plus simple d'obtenir que la toupie touche le sol par la pointe d'abord, consiste à la lancer avec la main par la méthode employée d'ordinaire pour lancer les toupies, c'est-à-dire en lui imprimant un mouvement de rotation par le déroulement rapide d'une corde enroulée autour.

Personne n'a jamais vu une toupie se tenant sur la pointe autrement que lorsqu'elle est en mouvement ; cependant, si une toupie était façonnée avec un soin tel que son centre de gravité se confondît avec son centre géométrique, elle se tiendrait cer-

tainement en équilibre sur sa pointe, si on l'y posait avec soin, quand bien même, elle *ne serait pas en mouvement*. Ce fait n'a jamais été réalisé et ne le sera jamais, si on considère qu'une toupie aussi absolument parfaite que nous l'avons supposée, ne pourra jamais sortir de la main de l'homme; mais la facilité avec laquelle une toupie se tient en équilibre sur sa pointe, lorsqu'elle tourne, nous montre de quelle manière complète le mouvement de rotation remédie à l'inégalité de répartition de ses parties autour de son axe. Non-seulement une toupie animée d'un mouvement de rotation se mouvra dans l'air, la pointe en avant, si on la lance d'abord ainsi; mais elle continuera à se tenir sur sa pointe après avoir touché le sol, jusqu'à ce que le mouvement de rotation décroisse au-dessous d'une certaine limite.

Si nous cherchons maintenant à nous rendre raison de cela, nous en trouverons facilement l'explication. Une toupie est un corps dont le poids est inégalement distribué et dont la forme est aussi inégalement distribuée autour de son axe; en d'autres termes, il manque de symétrie. Façonnez-la avec toute la précision possible, il y aura toujours quelques parties plus lourdes que d'autres. Mais

l'effet d'une rotation rapide est d'arranger et de distribuer les inégalités réelles, de telle sorte que le résultat est une égalité virtuelle.

Le promeneur de Londres peut maintenant observer dans le cours de ses flâneries à travers les rues une nouvelle pratique introduite dans le jeu de la toupie, qui, s'il lui arrivait jamais de porter ses réflexions sur la question des obus à percussion, pourrait lui faire considérer avec intérêt ce passe-temps d'enfant. Je veux parler de la coutume qu'ont quelques enfants de fixer une capsule à percussion à la pointe de leur toupie. Comme la toupie frappe le sol par la pointe à cause de la polarité qui lui a été communiquée, la capsule fait explosion; et si la pointe était convertie en une cheminée forée comme celle des fusils à percussion, communiquant avec une chambre pratiquée dans le corps de la toupie et remplie de matières explosives, — l'enfant aurait, sans s'en rendre compte, construit un véritable obus percutant à rotation. Les obus qui éclatèrent près de la voiture de l'Empereur, le 14 janvier 1858, étaient des *obus polaires à percussion*, leur polarité avait été déterminée en faisant une extrémité de l'obus plus lourde que l'autre. Il paraît qu'ils étaient en acier fondu, finis

au tour, cylindriques au milieu et tronconiques aux deux bouts. Le bout destiné à frapper était vissé avec le corps, l'autre n'était qu'emboîté. L'explosion était assurée par vingt-cinq cheminées amorcées chacune avec une capsule à percussion. On dit que la charge intérieure était du fulminate de mercure. Un pareil projectile serait inapplicable au service militaire.

SUR LES CANONS CARABINÉS.

Si on fixe dans un étau un canon ordinaire de mousquet de manière à prévenir tout mouvement, qu'on le charge et qu'on le tire plusieurs fois de suite sur une cible placée à une centaine de yards de distance, les balles s'écarteront de la ligne de mire beaucoup plus qu'on n'aurait pu l'imaginer *à priori*. Au lieu de toucher exactement le point visé, quelques-unes frapperont au-dessus, quelques autres au-dessous, et enfin d'autres de chaque côté. Et dans ces conditions, l'erreur ne sera pas légère, car elle pourra s'élever à deux pieds et même plus.

Il résulte évidemment de ce fait qu'avec une arme si radicalement défectueuse, la justesse du

coup d'œil dans le soldat n'est qu'une qualité d'une application limitée. Si on éloigne la cible de plus en plus, les écarts augmentent d'une manière étonnante; si bien qu'à une distance de six cents yards, une balle de mousquet s'éloigne fréquemment de la ligne de mire de plusieurs centaines de pieds.

Il ne s'agit pas ici d'une nouvelle découverte, c'est une chose qui était bien connue de Robins, expérimentateur habile, qui le cite dans son ouvrage sur l'artillerie, écrit en 1742; mais le fait n'a jamais été dénoncé avec l'importance qu'il mérite, et bien moins encore en a-t-il été pris acte comme d'une chose forcée, aussi claire qu'un axiome.

La raison de ce manque d'uniformité dans le tir n'est pas difficile à expliquer, elle dépend des conditions, toujours variables, dans lesquelles se trouve une balle pendant son trajet dans l'air, quand elle a été tirée dans un canon ordinaire. En premier lieu, quoique prétendue sphérique, aucune balle ne l'est absolument, et plus elle s'éloigne de la sphéricité parfaite, plus l'action qu'elle subit de la part de l'air atmosphérique, pendant sa marche, la fait dévier de sa trajectoire théorique. Une nouvelle

source de déviation résulte encore de la condition dans laquelle elle se trouve lorsqu'elle sort du canon. Vient-elle, par exemple, à toucher en dernier lieu le côté droit du canon, alors elle tourne de gauche à droite autour d'un axe vertical, et le sens de sa déviation sera ainsi à droite de sa trajectoire théorique. Arrive-t-il qu'elle touche le côté gauche du canon, on obtiendra un résultat inverse, et ainsi de suite, suivant que varieront les conditions de son contact final avec le haut ou le bas du canon.

La méthode de rayer ou de carabiner le canon est une ingénieuse invention pour transformer le mouvement irrégulier et mal défini des projectiles d'armes à feu en un mouvement régulier et prédéterminé, en leur imprimant effectivement un mouvement de rotation semblable à celui de la toupie et en en assurant la continuité pendant qu'ils parcourent leur trajectoire.

Mais il est assez étrange que, bien que le principe de la carabine soit fondé sur l'idée d'une toupie tournant sur son axe, cependant, jusqu'à ces derniers temps, on n'ait imprimé le mouvement de rotation qu'à des balles sphériques et non à des projectiles ayant la forme d'une toupie.

Voici le caractère général par lequel un canon de carabine ordinaire (1) diffère d'un canon de fusil ordinaire. Tandis que ce dernier a une âme lisse et cylindrique, le premier a une âme sillonnée de rainures ou échancrures. C'est la seule particularité qu'un premier coup d'œil fait distinguer; mais si l'observateur dévisse la culasse d'une carabine et regarde à travers le canon, il remarquera que les sillons en question ne procèdent pas en ligne droite, de la bouche du canon à la culasse, mais qu'ils affectent la direction d'une spirale d'un pas très-allongé, ce pas étant d'environ quarante diamètres. Maintenant, il est évident qu'une balle ou cheville de plomb forcée dans un canon de cette espèce et obligée ensuite de le parcourir, doit (à moins qu'on emploie une violence extraordinaire) suivre dans sa marche la direction de la spirale; et si elle est chassée du canon par la force de la poudre, elle devra se mouvoir dans l'air en tournant, à la façon d'une toupie. Tel est l'effet des canons carabinés et tel est le mouvement d'une balle de carabine sur sa trajectoire.

La grande justesse d'une carabine comparée à

(1) Je dis carabine ordinaire, parce que la carabine ovale de Lancaster a une âme lisse.

un canon ordinaire est trop connue pour que j'en fasse l'objet de longs commentaires. Je n'ai pas besoin par conséquent de m'étendre sur ce sujet; mais je veux poursuivre en examinant plus attentivement les principes physiques de l'instrument, les lois qui régissent son action, les causes qui ont tendu à limiter son application et comment on en a triomphé.

En premier lieu, il est évident que la carabine, à moins qu'on adopte quelque procédé particulier, doit être considérablement plus difficile à charger qu'un fusil ordinaire, et exiger plus de temps pour accomplir cet acte. Le principe même sur lequel l'instrument est fondé demande que la balle soit forcée, et pendant longtemps on n'obtint ce forcement qu'en employant une balle d'un diamètre légèrement plus fort que celui du canon; la balle était d'abord introduite avec un maillet et ensuite poussée à fond par les coups redoublés d'une lourde baguette. Incontestablement, la carabine dans ces conditions est une arme beaucoup plus difficile à manier que le mousquet ordinaire, plus pénible à charger et à décharger, et par conséquent moins commode pour diriger sur des masses de troupes un feu vif et bien nourri. Aussi, dès le

principe de l'invention de la carabine, on essaie de la charger par une ouverture pratiquée à la culasse; et sur les premières carabines on peut voir diverses tentatives faites dans cette voie. Généralement parlant, aucune de ces inventions n'a réalisé les espérances de ceux qui en avaient eu l'idée, principalement à cause de la difficulté de faire les joints nécessaires imperméables aux gaz résultant de l'inflammation de la poudre. Bien plus, la même objection a pu être faite, jusqu'à ces derniers temps, à toutes les espèces d'armes se chargeant par la culasse, mais on peut se demander maintenant si l'objection n'a pas été levée.

Il serait déplacé ici de décrire les procédés qu'on emploie pour rayer les canons de fusil, mais on en a dit assez pour convaincre le lecteur que la taille de ces longues rayures en spirale est une opération très-délicate, que si ces rayures ne sont pas absolument parallèles les unes aux autres, le but dans lequel elles ont été faites sera manqué, et que la carabine (qui dans ce cas ne mérite pas ce nom) sera devenue quelque chose de pire qu'un canon ordinaire. Une carabine est, en effet, un instrument délicat, peu fait pour des mains grossières, et efficace seulement quand on la traite avec égard.

Quant au nombre et à la largeur des nervures, côtes, billons, ados, comme on les appelle, et à la profondeur des sillons, c'est une affaire de goût jusqu'à un certain point, si on emploie des balles pleines, non à expansion (1). Pourvu qu'on ne perde pas de vue la théorie de la carabine, si bien que le chargement soit fait de manière que la balle prenne infailliblement le mouvement en spirale; pourvu qu'en premier lieu la carabine ait été exactement cannelée (sans quoi tout soin serait superflu), toute carabine est susceptible de tirer avec assez de justesse pour satisfaire aux exigences du service militaire, c'est-à-dire pour arriver à atteindre un homme, ***sans le manquer***, à la distance de quatre cents yards, étant fixée dans un étau ou d'une autre manière. Toutefois, pour le service militaire, les carabines ayant de petites rayures délicates ont toujours été sujettes à objections, exposées qu'elles sont à être détériorées par l'emploi d'une baguette en fer, et de plus étant sujettes à l'inconvénient de laisser la balle ***échapper aux rayures***, ***to strip***, comme on dit en termes techni-

(1) Avec des projectiles expansifs, un nombre impair de rayures convient mieux qu'un nombre pair. Il vaut mieux opposer une rayure à un ados qu'une rayure à une autre.

ques, c'est-à-dire de la laisser sortir en ligne droite du canon, sans prendre le mouvement en spirale.

Mais il n'est pas nécessaire de beaucoup insister sur l'inconvénient des rayures délicates, dans le service militaire actuel. Le temps des balles (des balles proprement dites, balles sphériques) est passé pour les carabines, et ne reviendra jamais. Les projectiles allongés, ou conoïdes, seront bientôt les seuls qu'un homme sensé voudra tirer dans une carabine, et comme désormais toutes les armes à feu portatives, destinées à tirer des balles, seront rayées, une balle de fusil, sphérique, en plomb, sera, dans quelques années, une curiosité.

Les rayures délicates ne réussissent pas avec le nouveau système de projectiles allongés. Avec les projectiles à expansion, tels que les balles Minié, Pritchest, etc., elles ne conviennent pas du tout (1).

Quel que puisse être le diamètre, ou calibre de l'arme, quelle que soit la longueur du canon, quelles que soient les autres particularités, la première chose à laquelle on doit tenir, dans l'acquisition d'une carabine, c'est que les rayures

(1) Les Américains appellent les nouveaux projectiles coniques et allongés, *pickets*, des piquets, et c'est une très-bonne expression.

soient correctement faites. Dans le but de s'assurer de cela, il est d'usage, dans quelques parties de l'Allemagne, de procéder de la manière suivante : On coule du plomb dans un bout de tube rayé exactement comme le canon en essai, de sorte qu'en retirant ce plomb, quand il est refroidi, on a un cylindre cannelé. Celui-ci étant huilé, on l'introduit dans le canon où on le fait passer d'outre en outre, et le degré relatif de facilité avec lequel il passe met l'expérimentateur à même de juger du degré de précision avec lequel les rayures ont été faites. Si le cylindre de plomb ne rencontre aucun obstacle sur sa route, mais marche régulièrement d'un bout à l'autre du canon, le canon est reçu provisoirement; si, au contraire, on remarque quelque irrégularité dans son mouvement, ou si on rencontre quelque obstacle, il est rejeté. Ce mode d'épreuve des canons de carabine est considéré seulement comme provisoire, et voit *l'experimentum crucis :* Supposons qu'il s'agisse d'une carabine à un seul canon (et les carabines à un seul canon sont toujours, *cæteris paribus*, plus précises que celles à canon double), on procède comme il suit : On la charge convenablement (des instructions complètes pour charger seront données tout à

l'heure), alors, l'ayant fixée solidement entre les mâchoires d'un étau, recouvertes de feuilles de plomb, pour préserver le canon, on la pointe avec soin sur le noir d'une cible placée à une petite distance, soit 80 yards, ou à la distance que donne la ligne de mire naturelle quelle qu'elle soit, et on tire. Si la balle va droit au but, et si, en répétant l'expérience plusieurs fois de suite, on obtient le même résultat, le canon peut être considéré comme bon *jusque* là. L'opération serait maintenant répétée à des distances progressivement croissantes, soit 100 yards, 150 yards, 200 et 300 yards. 100 yards peuvent être considérés comme la portée moyenne de but en blanc des carabines, au-delà de laquelle la balle, sans qu'elle doive pour cela sortir du plan vertical de tir où elle décrit sa trajectoire courbe, frappera au-dessous de la ligne de mire passant par le point le plus élevé de la culasse et le point le plus élevé de la bouche. En d'autres termes, le canon doit être élevé en proportion de la distance du but. Maintenant cette élévation est déterminée, dans les carabines, par des mires ou hausses de différentes longueurs. Nous supposerons que l'épreuve du tir, le canon étant fixé comme précédemment, soit répétée à 200 yards, ou à toute

autre distance figurant parmi celle donnée par la hausse. Si les balles touchent le noir à cette distance, le canon est de bonne qualité; ou, si elles frappent dans la même ligne verticale, un peu au-dessus ou un peu au-dessous du noir, ce n'est pas un défaut essentiel. Si la balle frappe au-dessus du but, à cette distance, mais tire juste à la distance donnée par la mire la plus courte ou de but en blanc, quelle qu'elle soit, alors on peut présumer que l'erreur dépend de ce que la mire en question est trop haute, et, par conséquent, donne trop d'élévation. Le remède, à cela, est simple et évident; la hausse devrait être raccourcie.

Si la balle frappait invariablement à droite, ou invariablement à gauche du but, alors l'erreur dépendrait probablement de ce que la mire n'est pas posée exactement dans la ligne médiane du canon. Le remède, dans ce cas, est encore évident. Si la balle frappe au-dessous du noir, mais sur une ligne verticale passant par son centre, alors l'erreur peut provenir de l'une des deux causes suivantes : ou la hausse est trop courte, ou la charge de poudre est trop petite.

La carabine serait éprouvée, de cette manière, pour chacune des distances marquées sur la hausse;

après quoi, on peut l'essayer à des distances intermédiaires, de sorte que le tireur à la carabine (*riflemen*) peut, à la longue, acquérir dans son arme une entière confiance, basée sur la connaissance qu'il a de sa portée et de son efficacité.

Les remarques faites jusqu'ici sont générales et non spéciales; elles s'appliquent à tous les canons d'armes construits sur le principe des carabines. Nous allons maintenant présenter quelques observations sur des spécialités de carabines.

CARABINES SE CHARGEANT PAR LA CULASSE, ET BALLES SPHÉRIQUES (1).

Nonobstant toutes les combinaisons auxquelles on a eu recours pour la solution du chargement des carabines par la culasse, le chargement par la bouche est encore très-général; et quoique le temps des balles ou projectiles sphériques, pour le tir des carabines, soit entièrement passé, les conoïdes allongés (*pickets*) ayant avec raison pris leur place, cependant, ne serait-ce que par égard pour une vieille

(1) I e, balles proprement dites.

connaissance, nous ne devons pas passer entièrement sous silence l'ancien système de chargement par la bouche, avec une balle proprement dite.

Le chien étant abattu sur la cheminée, cette dernière étant sans capsule, ou bien le chien étant au demi-bandé, charger l'arme avec la quantité de poudre reconnue d'avance comme convenable; alors, en admettant qu'une balle de plomb soit le projectile dont on doive se servir, procéder de la manière suivante : Mettre à plat, sur la bouche du canon, un morceau de toile, de soie, ou de peau de gant, graissé du côté qui est tourné vers la bouche, et d'une dimension exactement égale au diamètre extérieur du canon. Sur ce morceau de toile, de soie ou de peau, poser la balle, et forcer le tout à descendre sur la poudre. Ceci est obtenu habituellement à l'aide d'un petit maillet, pour forcer la balle dans le canon, et d'une baguette pour la pousser à fond. Mais on peut se dispenser du maillet. L'arme est ensuite amorcée avec une capsule, comme à l'ordinaire.

Il faudrait prendre beaucoup de précautions avec toutes les carabines, pour ne pas endommager les rayures et les nervures, en enfonçant la balle avec la baguette. Les amateurs ont, depuis long-

temps, renoncé à l'usage des baguettes en fer, à cause des détériorations qui en résultaient; mais les carabines militaires, toujours en arrière des perfectionnements, ont encore un instrument si destructeur de la justesse de leurs armes. S'il est nécessaire de conserver les baguettes en fer, dans le service militaire, à cause de la résistance du métal, le bout devrait au moins être garni en bronze. Mais depuis qu'on a adopté, dans le service militaire, l'usage des conoïdes construits sur le principe de l'expansion, la baguette en fer ne peut *plus* être aussi préjudiciable qu'autrefois.

Quelques personnes sont dans l'habitude de charger des carabines de l'ancien modèle sans la *pièce grasse* décrite ci-dessus; mais, en supposant qu'on se serve d'une balle et non d'un conoïde, c'est une méthode répréhensible.

Il me semble que c'est ici le lieu d'appeler l'attention sur le mode très-vicieux de chargement des carabines suivi dans quelques-uns de nos tirs de Londres, où, en vue d'économiser le temps, la balle, sans pièce grasse, est chassée avec force sur la poudre avec une baguette en fer garnie d'une lourde pomme en fer à un de ses bouts. Les carabines soumises à ce régime sont totalement hors de service

en peu de temps, leurs rayures étant déchirées, éraillées ou faussées.

CARABINE ORDINAIRE AVEC PROJECTILE CONOÏDE (PICKET.)

Quoique les projectiles conoïdes conviennent mieux aux carabines ayant des rayures larges et peu profondes, on peut cependant toujours s'en servir avec des carabines quelconques, si on prend les précautions convenables et pourvu que les conoïdes ne soient pas construits sur le principe d'expansion. En Allemagne, les tirs à la carabine sont, comme on le sait, beaucoup plus communs qu'ici, et généralement le tir y est excellent. J'ai assisté à plusieurs de ces tirs et j'ai vu des projectiles conoïdes tirés avec des carabines ayant divers genres de petites rayures. Quelques-uns se servaient de pièces grasses, d'autres non, et la charge de poudre était faible. Je pense que la charge devrait toujours être faible avec cette espèce de carabines, employée de cette manière ; autrement le conoïde serait sujet à échapper aux rayures (to strip.)

Quant aux conoïdes à expansion, dont il va être question maintenant, il ne faut pas compter sur leur réussite avec des carabines à petites rayures.

DÉVELOPPEMENTS DE LA CARABINE.

D'après ce que nous avons déjà dit de la carabine, on sait que c'est une arme à feu construite de telle sorte, qu'en imprimant à son projectile un mouvement de rotation, ou mouvement semblable à celui d'une toupie, elle lui assure une direction polaire pendant son trajet.

Nous avons décrit la carabine dans sa forme la plus simple ; étudions maintenant ce qu'on peut appeler ses développements et pour la facilité de cette étude, divisons-les en développements de principe et développements de forme.

Je ne sais pas si on peut dire qu'il se soit produit quelque chose qu'on puisse à juste titre appeler un développement de principe, soit pour la carabine, soit pour son projectile, depuis l'origine de la découverte de la carabine jusqu'à l'introduction des projectiles conoïdes, soit pleins, soit à expansion. Sans doute on a apporté des modifications à la carabine et on y en apporte encore tous les jours : un fabricant croit devoir adopter un certain pas pour les rayures, un autre en choisit un différent, mais peut-être peut-on arriver à un tir également correct, avec

la carabine de l'un et de l'autre. Certains armuriers pensent que le pas de l'hélice doit aller en augmentant; être presque nul à la culasse et progressif à partir de ce point. Il n'y a pas de principe en jeu là-dedans; tout cela est affaire d'opinion. Cependant, généralement parlant, nous pouvons dire, que, depuis l'introduction des projectiles conoïdes, soit pleins, soit à expansion, les rayures des carabines ont été moins nombreuses et moins profondes qu'autrefois.

Pendant la dernière guerre (guerre de Crimée), M. Whitworth, de Manchester, avec l'aide de subsides votés par le parlement, fit une étude spéciale des principes de la carabine. M. Whitworth peut être considéré comme un homme heureux. Il commença ses travaux sur cette matière, ne sachant quoi que ce soit des carabines. Il finit par découvrir ce que les constructeurs de carabines savaient déjà, c'est-à-dire, que le maximum de portée exige le maximum de longueur pratique du projectile. Ceci n'est pas dit dans le but de dénigrer les travaux de M. Whitworth; au contraire, il n'est pas sans importance que ses déductions soient précisément celles auxquelles sont arrivés les fabricants de carabines, par une série d'expériences indépendantes

des siennes. M. Whitworth n'a certainement pas avancé la construction des carabines d'un *iota*; et la manière dont ses expériences ont été présentées au public laisse quelque chose à désirer. Par exemple, lorsqu'il s'est agi de l'immense pénétration de la balle de M. Whitworth, on a omis un détail : *c'est que le projectile en question n'était pas en plomb, mais en étain,* métal dur, qui ne pourrait pas se prêter à l'application du principe d'expansion (1), et pour ce motif et d'autres encore, ne pourrait pas être adopté pour le service militaire en général. L'omission de cette circonstance peut avoir été politique, si on considère qu'on agitait dans le parlement la question d'une récompense pécuniaire à l'inventeur; mais était-ce bien conforme aux traditions de la science? Je sais que M. Whitworth propose d'employer un projectile en plomb dans le service militaire, mais la balle de plomb ne fut pas la seule présentée, ni la seule dont la pénétration fut discutée, pendant la session parlementaire (2).

(1) L'évidement à la base du picket de M. Whitworth n'est que de 1/8 de pouce.

(2) Pourquoi tous ceux qui présentèrent des projets de fusils pour le service anglais furent-ils astreints à conserver la cartouche Enfield et se départit-on de cette restriction pour

Les carabines de M. Whitworth ont une âme

le seul M. Whitworth? M. Whitworth s'arroge d'étranges priviléges. Par exemple, dans les essais comparatifs qui précédèrent le choix des armes admises à concourir à Wimbledon, ce constructeur employa des balles ajustées mécaniquement à sa carabine, quoique aux termes du concours, la cartouche de guerre dût être seule employée. M. Lancaster, l'inventeur du célèbre système à âme ovale, avait tout d'abord refusé le concours pour ce motif, et c'est pour cela que sa carabine ne fut pas essayée dans cette circonstance. Mais plus tard, elle a concouru avec celle de M. Whitworth, sur l'invitation de la commission spéciale de l'artillerie, et le résultat a été un triomphe complet pour elle. Non-seulement elle surpasse la carabine Whitworth, mais cette dernière fut encore primée par la carabine Enfield elle-même. Le tir comparatif des trois armes donna le résultat suivant :

	300 yards.	500 yards.	800 yards.	1000 yards.	1200 yards.
DÉSIGNATION des armes.	DÉVIATION moyenne.	DÉVIATION moyenne.	DÉVIATION moyenne.	DÉVIATION moyenne.	DÉVIATION moyenne.
Lancaster.	po 4.20	po 0.50	po 1.01	po 1.87	po 3.90
Enfield.	5.25	0.87	1.76	2.55	4.40
Whitworth.	5.76	0.70	1.62	2.88	5.52

Ces chiffres, quoique non officiellement communiqués, sont d' chiffres officiels.



hexagonale ; il n'y a rien de nouveau en cela ; je possédais, lorsque j'étais enfant, une carabine hexagonale de fabrique espagnole (1).

Les figures 22, 23 et 24 représentent la célèbre balle hexagonale en métal dur de M. Whitworth, sa balle de plomb et une troisième plus forte ; cette dernière dessinée de mémoire (les autres sont de grandeur naturelle), et, quoiqu'elle n'ait pas répondu au but qu'on s'était proposé, elle est intéressante parce qu'elle jette une certaine lumière sur le cours qu'ont suivi les idées de ce gentleman dans ses recherches. Il paraît avoir débuté par une hélice d'un pas très-court et des balles d'un diamètre considérable, et avoir fini en diminuant le diamètre transversal de sa balle, ainsi que la raideur du pas de l'hélice. Si le fusil de guerre actuel Enfield, eût été d'un diamètre aussi petit que la carabine Whitworth, il aurait eu des portées aussi longues et une égale pénétration. Mais pour le service militaire, on ne regarde pas comme désirable de diminuer le calibre plus qu'il ne l'est

(1) Il n'est pas sans intérêt de remarquer que Maurice Mayer, dans son *Traité des armes à feu*, fait déjà mention en 1839, de fusils de chasse dont l'âme était forée, à section hexagonale.

dans la carabine Enfield; le canon s'encrasserait trop facilement, inconvénient qui ne serait pas compensé par l'avantage de donner des portées très-longues. Il eût été bon que tous ces points fussent bien établis. Le canon est en acier, il pèse une livre de plus que la carabine Enfield (modèle..., 1855).

Les chiffres ci-après font connaître les autres détails de l'arme et de son projectile :

	Pouces.
Diamètre du polygone d'un côté au côté opposé	0,430
Diamètre du polygone d'un angle à l'angle opposé	0,490
Longueur du picket	1,450

Longueur du canon 3 pieds 3 pouces.

C'est ici le lieu de donner les calibres respectifs des mousquets et des carabines Minié et Enfield.

	Pouces.
Fusil (modèle 1842)	0,753
Minié.	0,702
Enfield	0,577 (1)

(1) L'âme hexagonale adoptée par M. Whitworth est radicalement mauvaise, à moins que les balles n'y soient ajustées mécaniquement. Les angles de l'hexagone sont rarement remplis par l'expansion ou plutôt par le renflement de la

CARABINE A AME OVALE DE LANCASTER.

Si nous concevons une carabine ovale à deux rayures, comme dans la fig. 25, dont les angles soient abattus de manière qu'elles se raccordent avec le reste de l'âme, il en résultera, en fin de compte, une âme ovale le long de laquelle on ne remarquera plus aucune rayure (puisque, en effet, il n'en existe pas), mais qui affectera tout entière une forme tordue en hélice, et une balle s'adaptant exactement à cette forme d'âme en sortira en prenant un mouvement de rotation. Quoique la forme ovale ait modifié la carabine primitive à deux rayures, on peut difficilement dire qu'elle réalise un principe nouveau ; mais les procédés par lesquels on obtient cette âme ovale sont excessivement ingénieux, et ces carabines sont très-justes.

Dans les carabines Lancaster faites récemment, l'ovale est si peu prononcé, que quelqu'un qui ne connaîtrait pas le genre de canon, n'en soupçonne-

balle. M. Henry, d'Édimbourg, modifie l'âme adoptée par M. Whitworth, en ajoutant une nervure à chaque angle de l'hexagone, et de cette façon il obtient une arme très-efficace. La balle de M. Henry ne se déshabille jamais, tandis que cela arrive fréquemment à la balle de guerre de M. Whitworth qui n'est pas ajustée mécaniquement.

rait pas l'existence. Aussi une carabine à âme ovale peut-elle être employée avec succès comme fusil de chasse, les petits projectiles étant, dans ce cas, très-peu influencés par le carabinage.

En justesse, l'âme ovale est égale à toute autre, et l'absence d'encrassement lui donne des avantages énormes au point de vue militaire. À cet égard, le fait suivant est significatif : tandis qu'avec la carabine de guerre Enfield, on ne peut employer qu'un projectile de 0,55 pouce de diamètre dans un tir d'exercice continu, avec la carabine Lancaster du même calibre, on peut toujours charger facilement avec une balle de 0,568 pouce. Dans le cours de quelques expériences faites dans le but d'essayer l'effet de diverses matières lubrifiantes, il m'est souvent arrivé de ne pouvoir plus charger la carabine Enfield après 30 ou 40 coups, et je n'éprouvai jamais la moindre difficulté de ce genre avec la carabine Lancaster à âme ovale. Le corps du génie, en Angleterre, est armé depuis quelque temps avec la carabine à âme ovale, et pour ne pas rompre l'uniformité de diamètre adoptée pour la balle dans toute l'armée, on lui a donné la balle de 0,55 pouce ; mais comme ce diamètre est plus petit qu'il n'est nécessaire, on a

l'intention d'adopter une nouvelle carabine ayant un diamètre réduit à 0,568 pouce, au lieu de 0,577 pouce. Les tableaux suivants (officiels) donnent comparativement les degrés de hausse et les déviations moyennes à 1,200^{m} de la carabine ovale de calibre réduit à 0,568 pouce, de la carabine Enfield ordinaire à trois rayures, du calibre de 0,577 pouce, et de la carabine de Whitworth de petit calibre, c'est-à-dire de 0,45 pouce.

Tableau donnant les résultats comparatifs du tir à 1,200 yards des carabines ci-dessous désignées.

WHITWORTH. 0po.451.		ENFIELD. 0po.577.	
HAUSSE en degrés.	DÉVIATIONS moyennes.	HAUSSE en degrés.	DÉVIATIONS moyennes.
4°.12	52po.44	4°.42	99po.36
4.03	50.64	4.38	92.16
3.58	44.52	4.36	72.28
4.49	87.10	4.37	87.10
4.13	48.64	4.09	52.20
Moyenne.	56po.66	moyenne.	80po.60

ENFIELD. 0 po.577.		LANCASTER. 0 po.568.	
HAUSSE en degrés.	DÉVIATIONS moyennes.	HAUSSE en degrés.	DÉVIATIONS moyennes.
4°.27	77po.28	4°.21	72po.00
4.37	96.48	4.25	72.48
4.36	86.52	4.30	59.04
4.45	84.48	4.29	67.04
4.44	90.36	4.35	54.84

Ce qui constitue en faveur de la carabine Lancaster, à âme ovale, une différence de 21 pouces 74.

INCONVÉNIENTS DE LA CARABINE SE CHARGEANT PAR LA BOUCHE. PRINCIPE D'EXPANSION.

Si nous portons notre attention sur le principe et la construction de la carabine, si nous considérons que c'est un écrou dans lequel le projectile, qui est une vis à filets saillants, s'adapte exactement, — il est évident que le travail nécessaire pour tailler ces filets sur une balle, *picket* ou projectile de quelque forme qu'il soit, exige un certain déploie-

ment de force. L'ancien mode de chargement obligeait l'homme à faire lui-même ce travail. La balle, d'un diamètre un peu plus fort que le calibre de la carabine, était forcée dans cette dernière par un travail manuel. Même quand la carabine était propre et en bon état, et qu'on la chargeait avec toute la tranquillité qu'on peut avoir dans le bois d'un parc ou dans la galerie d'un tir, — ce travail était tel, que chaque tireur s'en fût *volontiers* affranchi, si la chose eût été possible; et sur le champ de bataille, lorsque le canon d'une carabine devenait sale, on ne pouvait quelquefois plus la charger qu'en employant un moyen comme celui-ci, par exemple : frapper la baguette en fer contre un arbre ou contre le sol, qui avait des conséquences tout à fait ruineuses pour le canon, outre qu'il était très-incommode.

Cette nécessité vraie ou supposée d'enfoncer la balle de carabine en frappant dessus était si intolérable, que quand les platines à silex étaient encore dans la période ascendante de leur vogue, et que l'industrie mécanique était beaucoup moins perfectionnée qu'à présent, il y avait déjà longtemps qu'on avait imaginé des procédés pour charger les carabines par la culasse. Quelques-uns se compor-

taient bien pendant quelques coups, mais pas un ne résistait à l'épreuve d'un feu continu ; aussi ce n'est que longtemps après l'invention des platines à percussion qu'on se berça de l'espoir de faire des carabines se chargeant par la culasse propres au service militaire. Le problème du *chargement par la culasse* peut-il être considéré comme positivement résolu, même aujourd'hui, pour toutes les espèces d'armes portatives? C'est encore un point à discuter. Qu'il le soit pour les pistolets et les mousquetons, ce n'est douteux pour personne. Que des fusils de chasse se chargeant par la culasse soient aussi sûrs et plus commodes que des fusils se chargeant par la bouche, ce n'est pas plus douteux. Un système de chargement par la culasse, au moins, celui du colonel Greene, ne laisse rien à désirer, appliqué aux mousquetons; mais quant à l'arme à feu qui devra remplacer le Brown Bess (fusil de munition) quelle qu'elle soit, c'est encore une question de savoir si le chargement par la culasse pourra lui être appliqué avec un succès complet. Les Prussiens l'ont essayé avec leur célèbre *Zündnadelgewehr*, ou fusil à aiguille, qui ne laisse rien à désirer sous le rapport de la rapidité du chargement quand il est en bon état, mais qui,

après un long tir, perd des gaz par les joints de la culasse, au point que le soldat qui le tire en est sérieusement incommodé. Dans le cours de la campagne faite par les Prussiens contre les Holsteinois, quelques-uns de ces fusils devinrent tellement défectueux qu'ils ne purent plus être tirés en épaulant, à cause du jet de flamme qui sortait par la culasse.

J'ai vu fréquemment les troupes prussiennes au tir à la cible avec le fusil à aiguille, et généralement leur tir était bon ; tout naturellement, le principe d'ignition, quel qu'il soit, n'a pas d'influence sur la correction du tir. Mais j'ai été aussi témoin de l'extrême difficulté que les troupes éprouvent pour ouvrir leur mécanique de culasse, s'il m'est permis de l'appeler ainsi. Je les ai vues faire effort et tourner de tant de manières, chacun suivant les besoins de la circonstance et suivant qu'il était plus ou moins ingénieux, qu'aucune instruction n'aurait pu leur enseigner une pareille manœuvre, hormis l'absolue nécessité.

Je cite ici le fusil à aiguille, parce que c'est la seule variété de fusil de ligne se chargeant par la culasse qui, jusqu'ici, soit entrée d'une manière étendue dans le service militaire. J'avais meilleure

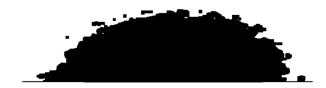
opinion de lui autrefois qu'à présent. Rien que le terrible danger auquel on est exposé avec cette arme est une objection contre elle. Il n'y a pas longtemps que je faillis tout simplement être tué par suite du départ accidentel d'un fusil à aiguille entre les mains non d'une personne sans expérience, mais de *l'inventeur* lui-même. Je n'ai pas besoin de dire que l'inventeur fut fort peiné de cet accident et que je ne fus pas moins content d'y avoir échappé. Il expliqua exactement comment la chose était arrivée, et se donna la satisfaction d'affirmer que s'il n'eût pas fait quelque chose qu'il avait fait, le fusil ne serait pas parti. Très-bien! Mais sur le mur, à une distance peu rassurante de l'endroit où ma tête s'était trouvée, j'aperçus un petit trou, et me souvenant que le fusil à aiguille était parti, je conçus, à partir de ce jour, une sainte horreur pour l'arme traîtresse. L'inventeur désirait que je l'accompagnasse au champ de manœuvre, afin que je visse l'exercice du tir avec son fusil et qu'il pût justifier ses prétentions à la sûreté de son arme aussi bien qu'à sa portée et à sa pénétration. Mais je n'y allai pas, et je n'eus pas lieu de me repentir d'être resté chez moi, car ce même jour une vache fut tuée par un *zündnadelgewehr*.

Nous reviendrons plus tard au *zündnadelgewehr*, mais il était nécessaire d'en parler ici d'abord, pour jeter plus de jour sur ce que j'ai à dire relativement au principe d'expansion sur lequel sont construites les balles Minié et Enfield, pour carabines, principe dont l'adoption rend à peine désirables pour l'infanterie les carabines se chargeant par la culasse, puisqu'il permet d'introduire facilement une balle de plomb dans un canon et d'obtenir qu'elle s'y adapte exactement d'elle-même en taillant ses propres filets de vis au moment du départ, ce qui paraissait impossible à réaliser. Mais avant de décrire ce remarquable système, je dirai quelques mots en forme de préface sur la variété de carabines qui le précéda immédiatement dans notre service et qui s'y est encore attardée, comme je le vois, au dépôt du 60e de carabiniers.

La difficulté de forcer une balle de plomb d'une surface unie dans les rayures d'une carabine, finit par paraître si insupportable, que les autorités militaires françaises, anglaises et prussiennes, presqu'en même temps, se posèrent le problème d'y trouver un remède. Nous réduisîmes le nombre de nos rayures à deux et fîmes des projectiles (balles de plomb) avec des saillies, ou plutôt avec une seule

saillie formant ceinture autour de la balle et destinée à s'ajuster dans les rayures (fig. 26). En effet, avec cette arme, la difficulté de charger fut diminuée; mais le plus léger examen de la forme du projectile fera voir qu'il était très-mal calculé pour diviser l'air. Il fallait une forte charge de poudre, en sorte que le recul était considérable, et la portée de la balle à ceinture n'était pas en proportion de la charge. Tout d'abord, à la sortie de la bouche, la ceinture du projectile se présentait en avant; mais bientôt, obéissant aux lois ordinaires de la mécanique, il se mettait à tourner sur son plus petit axe, présentant à l'air son *côté plat*, c'est-à-dire le plus de surface possible. Maintenant, même une laitière sait qu'un fromage peut être lancé plus loin sa tranche en avant que la face en avant, et cependant ces balles à ceinture se présentent à l'air la face en avant.

Tirée avec un projectile allongé (une balle oblongue), la carabine à deux rayures est très-satisfaisante : M. Purdey fait toutes ses carabines de chasse d'après ce système; mais l'arme à quatre rayures, imaginée par le général Jacob, que les guerres de l'Inde ont rendu célèbre, est beaucoup meilleure. La grande objection que l'on faisait à cette der-



nière comme arme de guerre, c'était la difficulté de renfermer la charge dans une cartouche. Cette difficulté n'existe plus. J'ai inventé, pour M. Dern, qui fabrique ces sortes de carabines, un papier à cartouche qui est tout à la fois bon marché, solide et efficace.

J'ai déjà donné un aperçu de ce que les Prussiens ont fait; ils poursuivirent des expériences qui aboutirent à la fin au célèbre fusil à aiguille. Les tentatives faites en France pour approprier la carabine aux exigences du service militaire furent encore plus intéressantes.

Il ne semble pas que Napoléon Ier ait jamais eu bonne idée des carabines. Si je ne me trompe, il n'y avait pas de corps français armés de carabines dans les armées impériales. Ce ne fut qu'au moment de la conquête de l'Algérie par les Français que des études sérieuses furent dirigées par cette nation vers les perfectionnements basés sur le principe de la carabine, qui aboutirent à l'arme Minié. Laisser tomber librement un projectile dans le canon, le forcer quand il y est, — tel était le problème. Le mot projectile est employé avec intention, parce que les balles, dans le sens propre du mot, j'entends les sphères, étaient à rejeter immé-

diatement; et maintenant que les balles, pour le tir à la carabine, ne sont plus qu'une chose de tradition, dont les personnes sensées ne feront plus jamais usage, il semble extraordinaire qu'on ait persisté si longtemps dans leur emploi. Une sphéricité parfaite est une chose sensée à poursuivre tant que les balles ne sont pas tirées avec un canon carabiné et qu'on n'a pas de moyens à sa disposition pour leur imprimer une direction polaire; mais pourquoi comprimait-on toujours la balle pour tirer dans la carabine? Voilà ce qu'il est difficile d'imaginer. Si une sphéricité parfaite était importante, le mode de chargement et l'action du tir ne venaient-ils pas la détruire? Du moment qu'une balle était forcée sur sa charge de poudre, ce qui s'obtenait en l'aplatissant à coups de baguette et en la forçant par compression à entrer dans les rayures, ce n'était alors rien moins qu'une sphère. Je parle ici de la carabine ordinaire se chargeant par la bouche. Quant à quelques variétés de carabines se chargeant par la culasse, la disproportion entre le diamètre de la balle et le calibre du canon était quelquefois ridicule, si bien que le projectile, en sortant de la bouche du canon, était étiré au point d'être plus long que beaucoup de projectiles conoïdes qu'on

emploie aujourd'hui pour le tir des carabines. Cette préférence, accordée pendant tant d'années à la balle sphérique est inexplicable pour moi. Même en dernier lieu, cette balle semble avoir été abandonnée, non parce que la forme sphérique était regardée comme désavantageuse, mais parce que cette forme ne se prêtait pas aux exigences du principe d'expansion.

Comme les projectiles d'armes portatives sont en plomb, il est évident qu'une masse de plomb de forme quelconque, — par exemple, une balle assez petite pour rouler librement dans un canon carabiné, — peut être aplatie en frappant dessus suffisamment, de manière qu'elle s'ajuste exactement dans les rayures. Mais pour dilater une balle ou un morceau de plomb sphérique, il faudrait des coups si longtemps prolongés qu'un plus grand inconvénient serait substitué à un moindre; — par suite, nécessité de modifier le genre du projectile; on en chercha un qui pût être facilement écrasé ou dilaté.

Maintenant, il est bon de rappeler qu'il ne s'agissait pas de dilater une boule de plomb contre la culasse d'un canon sans sa charge de poudre; par conséquent, il va sans dire que le bouton de culasse

ordinaire ne suffisait pas pour réaliser le principe d'expansion, tant que l'expansion devrait être obtenue en frappant sur le projectile. Je présume que la plupart des personnes qui croient la lecture de ces pages digne de leurs loisirs, savent ce que c'est que la culasse à chambre et verront de suite que cette culasse est calculée de manière à offrir une résistance partielle a une balle de plomb. Mais dans l'intérêt de ceux qui abordent l'examen des projectiles pour la première fois, je joins un dessin (fig. 27) représentant la construction de la culasse à chambre et donnant une idée de la manière dont la balle est aplatie à coups de baguette sur le bord de la culasse en laissant les grains de poudre intacts.

Le résultat, quoique laissant à désirer sous beaucoup de rapports, démontra la justesse du principe. Mais on trouva bientôt qu'une balle était la plus mauvaise forme de projectile que l'on pût employer. Non-seulement elle est difficile à comprimer, mais lorsqu'elle est comprimée et qu'on la tire, elle sort la face aplatie en avant, offrant ainsi la plus grande résistance possible à l'air. On essaya alors des conoïdes ayant la forme de pain de sucre, arrivant enfin pour les projectiles de carabine

à une forme ressemblant beaucoup à celle que la toupie aurait pu suggérer tout d'abord.

J'ai vu de très-bons résultats obtenus avec des projectiles conoïdes (il serait incorrect de dire *balles*, les Américains les appellent *pickets* (1), ainsi comprimés sur les bords d'une culasse à chambre; en effet, on peut arriver avec une carabine quelconque à tirer d'une manière satisfaisante, soit une balle, soit un picket, pourvu que le carabinage soit correct.

— L'amateur de carabine n'a qu'à se prêter aux faibles de son arme, — qu'à étudier son caractère et ses dispositions, — qu'à observer le pas de ses rayures, — leur profondeur. — La charge qu'elle peut supporter sans que le projectile échappe aux rayures — et autres menus détails, — et avec cela, il arrivera, avec toute carabine, à tirer d'une manière satisfaisante. Mais quand il s'agit d'armes à feu de guerre, il ne faut pas se demander, comment puis-je m'y prendre pour les faire bien aller? mais comment puis-je m'y prendre pour les faire mal aller? Quels sont à la guerre les accidents qui peuvent les déranger?

(1) Sans doute parce qu'ils ressemblent à un court piquet.

Un militaire trouvera beaucoup de motifs de condamner le mode de compression contre une culasse à chambre. En premier lieu, la culasse à chambre ou culasse contractée se salit rapidement, motif pour lequel elle ne convient pas pour les armes de guerre, quoiqu'on l'y ait appliquée. Ensuite, si on considère son emploi au point de vue du principe d'expansion, on verra que le projectile n'est pas appuyé par où il devrait l'être, pour utiliser tout le travail des coups de baguette, c'est-à-dire par le milieu ; au contraire, il arrive dans la pratique que la partie centrale est un peu renfoncée et forme une bosse, qui, lorsque la chambre devient sale, et que, par conséquent, sa capacité est réduite, appuie sur la poudre et en brise les grains.

L'idée qui suivit fut une idée très-ingénieuse et conduisit à la construction d'une carabine qui a eu quelque célébrité, je veux parler de la carabine à tige (Carbina With Stens).

La tige est une espèce de petite enclume partant comme un jet du fond plat d'une culasse ordinaire et disposée de telle sorte que la charge de poudre, au lieu de se trouver au centre, comme dans la culasse à chambre, est distribuée tout autour de la



tige. L'objet de cette enclume est assez évident; elle fournit le moyen de comprimer la balle en son milieu, et lorsqu'on employa avec cette forme de carabine de profondes rainures transversales pratiquées sur le projectile, la peine de frapper fut beaucoup diminuée. (Fig. 28.)

Mais la tige a de grands défauts au point de vue militaire. Elle est encore plus sujette à se détériorer que la culasse ordinaire à chambre; et quelque trempée dure que soit d'abord la tige, une exposition continuelle à la chaleur la détrempe et la rend sujette à se fausser. Après peu de temps, la tige penche d'un côté ou d'un autre et cesse d'être efficace.

La carabine à tige est encore en service sur une grande échelle dans l'infanterie française, même aujourd'hui (1). La carabine Minié, contrairement à l'opinion générale, n'est que partiellement en service dans cette arme.

Comme le choc d'une baguette de fer était suffisant pour comprimer longitudinalement un projectile en plomb, et par conséquent, pour le dilater transversalement, — on se demanda si l'explo-

(1) La carabine à tige n'est plus en service actuellement.

sion de la poudre ne se chargerait pas bien de cette opération? Telle fut la question qui se présenta naturellement.

On trouva que cela réussissait sur un cylindre ou un *picket* et, bien entendu, pas sur un projectile sphérique; mais pour beaucoup de raisons, le règne des projectiles sphériques pour les armes à feu portatives avait pris fin (fig. 29).

M. Wilkinson, de Pall-Mall, adopta ce système pour sa carabine Stadia, dont le projectile de forme cylindro-conoïde est sillonné par trois profondes rigoles circulaires; — construction qu'on juge de suite être favorable à la compression longitudinalement, et par conséquent à l'expansion latéralement.

Système Minié. Le capitaine Minié inventa l'ingénieux procédé qui consiste à évider la base du projectile et à placer dans la cavité un petit dé en fer, plus grand que la cavité elle-même, et qui, par conséquent, ne peut la remplir que lorsque tout le projectile s'est dilaté transversalement (fig. 30). Maintenant, l'action des gaz, au moment du tir, chasse complétement le dé dans l'évidement et dilate infailliblement la balle; en effet, s'il arrive que la puissance de la charge et la résistance



des côtés du projectile ne sont pas dans une relation convenable entre elles, le dé est sujet à passer à travers celui-ci, le transformant ainsi en un cylindre creux de plomb qui reste dans le canon. La figure 31 représente la copie exacte d'une balle Minié, qui avait éprouvé cet accident.

L'arme réglementaire présentement en service dans la Grande-Bretagne, appelée Enfield, à cause du lieu où elle est fabriquée, est une espèce de carabine Minié modifiée. Comme dans cette arme les rayures sont peu profondes, le projectile est cylindro-conoïde et évidé. Mais, tandis que dans la balle Minié, le culot est un dé en fer, dans l'Enfield c'est un cône tronqué en bois dur.

L'adoption de la carabine Enfield a présenté les avantages suivants :

1° On a obtenu une diminution de poids d'environ trois livres par chaque soldat (fig. 31), quoique la nouvelle balle soit elle-même de trente grains plus lourde que l'ancienne balle sphérique ;

2° Les soixante coups par homme ont été conservés ;

3° La force du fusil a été beaucoup augmentée ;

4° La justesse du tir d'un fusil qui ne coûte (sans

baïonnette) que L. 2. 10, s., a été améliorée au point qu'un bon tireur, à la distance de 300 yards, peut généralement mettre dans un noir de 6 pouces de rayon ;

5° La fabrication du projectile a été beaucoup simplifiée ; la balle Minié, adoptée dans l'origine avec le fusil Minié, ayant été ramenée d'une forme incommode et d'une composition de plomb et de fer demandant beaucoup de soin pour sa préparation, à une forme simple en plomb seulement ;

6° Un avantage indirect du nouveau fusil rayé, c'est que les perfectionnements qu'on réalise constamment dans la forme et la composition des projectiles allongés, seront plus aisément appliqués à un canon de ce diamètre qu'à un canon de l'ancien calibre.

La forme précise du projectile employé dans l'arme Enfield est due aux recherches de M. Pritchett ; et ici il faut remarquer que ce qui est relatif à l'arrangement des parties d'un projectile autour du centre de gravité, quoique inappréciable pour un œil vulgaire, est d'une grande importance pratique. Le premier désidératum, pour un projectile de carabine, c'est que son axe de rotation coïn-



cide avec sa trajectoire. Mais comme l'axe de rotation est une ligne droite et que la trajectoire est une ligne courbe, naturellement leur coïncidence ne peut être qu'approximative. Mathématiquement parlant, l'axe de rotation devrait être tangent à la trajectoire. Mais si, pour une cause quelconque, l'une ou l'autre extrémité a une tendance à plonger, à cause d'une prédominance de poids (pour me servir d'une expression populaire), à cette extrémité, ce désidératum, s'il est accompli, ne le sera qu'en dépit de ces conditions et non à cause d'elles, comme le fera voir la figure 32, qui représente la ligne courbe décrite par un projectile allongé. Les numéros 1 et 2 se mettent en mouvement en suivant une direction favorable. En poursuivant leur marche, numéro 1 plonge par la base et numéro 2 par la tête, à cause de la prédominance de poids à chacune de ces extrémités respectivement. Le témoignage des fabricants d'armes, tant ici qu'au dehors, tend maintenant à prouver (fig. 32) que le système allongé ou cylindro-conoïde exige, pour que le succès en soit assuré, les conditions suivantes :

1° Que le diamètre transversal du projectile soit un minimum et la charge de poudre un maximum.

2° Que l'inclinaison des rayures soit le minimum nécessaire pour assurer la justesse à l'espèce particulière de projectile à employer.

3° Que les rayures soient peu profondes et les angles arrondis.

4° Lorsque les causes agissantes auraient pour résultat de faire culbuter le projectile, son axe de rotation cessant de coïncider avec la trajectoire, il peut en être empêché en pratiquant des cannelures circulaires dont les arêtes vives doivent être opposées à la résistance de l'air.

5° Que la seule expansion sous l'action directe des gaz de la poudre est insuffisante pour assurer le succès, si on tient compte de la relation qui doit exister entre le calibre du canon, la longueur du projectile, la profondeur des rayures et la bonté de la poudre.

6° Pour obtenir la portée maximum, le projectile doit être allongé le plus possible sans entraîner une tendance à plonger, et lancé avec la plus forte charge que le canon puisse supporter sans donner un recul nuisible.

Les détails suivants relatifs aux armes à feu portatives, en service en Angleterre, sont extraits du



Manuel du service en campagne, du capitaine J.-N. Lefroy, F. R. S. R. A.

ARMES PORTATIVES EN SERVICE EN ANGLETERRE, 1854.

1° Mousquet à percussion, modèle 1842. — Canon. — Longueur, 3 pi. 3 p.; diamètre de l'arme, 0 po. 753. — Mousquet. — Longueur, 4 pi. 7 po.; poids, 10 lbs. 2 on. — Baïonnette. — Longueur (au-delà de la tranche de la bouche), 1 pi. 5 1/2 po.; poids, 1 lb. 1 on. — Arme complète avec sa baïonnette. — Longueur, 6 pi. 1/2 po.; pids 11 lbs. 3 on.

Munitions. — Balle (sphérique). — Poids, 490 grains, ou 14 1/2 à la livre. — Poudre, 4 1/2 dr. F. G. (fins grains); poids de 60 cartouches avec 75 capsules, 6 lbs. 10 on.

C'est là le mousquet de service, à canon lisse, adopté pour le service en 1842, et servant à armer la ligne en général. Sa portée efficace est de 200 yards, et on peut tirer environ 60 coups en trente minutes, en ajustant convenablement.

2° Mousqueton Victoria. — Canon. — Longueur, 2 pi. 2 po.; diamètre de l'arme, 0 po. 738. —

Arme complète. — Longueur, 3 pi. 6 po.; poids, 7 lb. 9 on.

Munitions. — Balle, la même que pour le fusil à percussion. — Poudre, 2 1/2 dr. F. G. — Poids, de 20 cartouches et 25 capsules, 2 lb. 3 on.

Cette carabine sert à armer la cavalerie et l'artillerie à cheval. Sa portée efficace est d'environ 150 yards.

3° Fusil rayé réglementaire, modèle 1851. — Canon. — Longueur, 3 pi. 3 po.; diamètre de l'arme, 0 po. 702; rayures, 4; pas, 1 tour en 6 pi. 6 po. — Mousquet. — Longueur, 4 pi. 7 po.; poids, 9 lb. 9 1/4 on. — Baïonnette. — Longueur (au-delà de la tranche de la bouche), 1 pi. 5 1/2 po.; poids, 15 1/2 on. — Arme complète avec la baïonnette. — Longueur, 6 pi. 01/2 po.; poids, 10 lb. 8 3/4 on.

Munitions. — Balle (Minié), poids, 696 grains; diamètre, 0,690 po.; poudre, 2 1/2 dr. F. G.; poids de 60 cartouches avec 75 capsules, 7 lb. 0 on. 8 dr.

C'est là le premier fusil rayé introduit dans le service. En 1851, on commanda 28,000 de ces armes qui sont maintenant réparties à peu près dans tous les régiments de l'armée. Il est muni de

hausses pour 1,000 yards et est efficace jusqu'à cette distance. Les cartouches sont graissées et renversées en chargeant. Si la graisse est fondue, il suffit d'humecter la cartouche avec de la salive, au moment de charger. La balle sphérique peut être tirée avec avantage dans le mousquet Minié, mais il se salit facilement. (Lane Fox.)

Fusil rayé Enfield, modèle 1853. — Canon. — Longueur, 3 pi. 3 po.; diamètre de l'âme, 0,577 po.; rayures, 3; pas, 1 tour en 6 pi. 6 po. — Baïonnette. — Longueur (au-delà de la tranche de la bouche), 1 pi. 5 1/2 po.; poids, 11 on. — Arme complète avec la baïonnette. — Longueur, 6 pi. 0 1/2 po.; poids, 9 lb. 3 on.

Munitions. — Balle (Pritchett, à expansion sans culot); poids, 530 grains; diamètre 0,567 po.; poudre, 2 1/2 dr. F. G.; poids de 60 cartouches avec 75 capsules, 5 lb. 8 on. 4 dr.

Ce fusil rayé fut adopté pour le service en 1853, après les expériences sur les armes carabinées faites à la manufacture royale d'Enfield Lock, en 1852. Jusqu'à présent on n'a encore fait que peu de ces armes et on propose d'adopter universellement le calibre de 24 ou de 0,577 po. Le tir de cette carabine est bon jusqu'à la même distance

que le fusil rayé réglementaire, c'est-à-d're jusqu'à 1,000 yards; mais il n'a de hausse que jusqu'à 800, cette distance étant considérée comme suffisante dans le service. Les cartouches sont graissées et renversées en chargeant.

L'intérieur de toutes les armes à feu devrait être essuyé avec une pièce grasse, après le tir, et il faudrait veiller avec soin à ce qu'aucun gravier ou aucune malpropreté ne s'introduisissent dans la giberne. On peut tirer environ 45 coups en 30 minutes, en agissant convenablement.

Certaines expériences ont été faites récemment (1862), sous la direction de la commission spéciale de l'artillerie, pour s'assurer si des modifications avantageuses ne pourraient pas être apportées au fusil de guerre Enfield. Le tableau uivant (officiel) fait connaître les résultats de ces expériences.

DÉSIGNATION de l'arme.	Numéros des coups.	[illegible] yards Angle.	Écart moyen.	500 yards. Angle.	Écart moyen.	800 yards. Angle.	Écart moyen.	1000 yards. Angle.	Écart moyen.	[illegible] Angle.	Écart moyen.
Enfield 3 rayures.	1	° 1.12	pi 0.91	° 2. 4	pi 1.58	° 3.10	pi 3.81	° 4.10	pi 6.10	° 5.11	pi 11.65
Pas 6pi 6po	2	1. 9	0.70	2. 2	1.54	3.17	3.78	4.11	8.29	5.10	14.08
Calibre 0po.577.	3	1. 6	1.21	2. 9	1.85	3.18	3.11	4. 6	9.35	5.00	9.01
Cartouche de guerre.	4	1.14	1.55	2. 1	1.70	3. 8	3.91	4.18	10.49	5. 4	11.22
	5	1.11	0.92	2. 0	1.58	3.11	2.64	4. 6	5.36	5.34	9.72
Moyenne.		° 1.10	pi 1.06	° 2. 3	pi 1.65	° 3.45	pi 4.10	° 4.10	pi 7.91	° 5.11	pi 11.13
Enfield 5 rayures.	1	° 1.13	0.94	° 2. 2	2.02	° 3.18	3.23	° 4.15	5.04	° 5.34	pi 9.35
Pas 6pi 6po	2	1.12	0.66	2. 1	1.62	3.10	3.79	4.22	10.79	5.36	10.19
Calibre 0po.577.	3	1.11	0.62	2. 4	1.20	3.10	2.84	3.56	9.65	5.35	9.79
Cartouche de guerre.	4	1.16	0.77	2.11	1.85	3.11	3.08	3 58	8.07	5.37	12.81
	5	1.15	0.71	2. 1	1.33	3. 5	3.42	3.55	7.39	5.25	10.33
Moyenne.		° 1.13	0.74	° 2. 3	1.60	° 3.10	3.38	° 4. 5	8.18	° 5.33	pi 10.69
Enfield 5 rayures.	1	° 1.17	0.63	° 2. 4	1.06	° 3. 5	2.22	° 3.47	4.61	° 5.22	pi 8.80
Pas 5pi 3po.	2	1.18	0.60	2. 2	1.23	4. 4	2.31	3.48	5.06	5.24	9.91
Calibre 0po.577.	3	1.24	0.85	2. 6	1.09	3.10	2.05	3.54	5.20	5.35	9.71
Cartouche de guerre.	4	1.20	0.76	2. 5	1.20	3. 3	2.91	3.50	4.99	5.20	11.02
	5	1.15	0.71	2. 4	1.08	3. 6	3.12	3.49	5.16	5.32	6.41
Moyenne.		° 1.19	pi 0.71	° 2. 4	pi 1.13[1]	° 3. 6	pi 2.34	° 3.49	pi 5.00	° 5.27	pi 9.17

[1] Enfield, pas 5 pi 3 po. 1re à 500 yards.

de poudre est de 3 dr. F. G. Ils sont en usage dans la marine, et sont distribués dans une certaine proportion aux marins.

L'autorité citée plus haut (le capitaine A. Lane Fox) ajoute les instructions suivantes pour ajuster avec le mousquet Minié : En tirant dans les rangs, ou à une distance moindre que 100 yards, les hommes devraient être instruits à se servir de l'arme sans relever la plaque de la hausse. A 150 yards, prendre la hausse pleine; à 200 yards, viser par le guidon et le second cran de la hausse. A 300 yards, viser par le troisième cran. A 400 yards, viser par le sommet du nez du chien lorsqu'il est au bandé. Aux distances intermédiaires, le soldat doit faire usage de son propre jugement, pour prendre des hausses intermédiaires à celles qui viennent d'être indiquées.

(La suite au prochain numéro.)

APERÇU

SUR LES CANONS RAYÉS

SE CHARGEANT PAR LA BOUCHE ET PAR LA CULASSE

ET SUR LES PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS A L'ART DE LA GUERRE

Par Jean CAVALLI.

(Extrait des Mémoires de l'Académie des Sciences de Turin).

Compte-rendu par C. DUCASTEL.

Je me propose de consacrer quelques pages à l'examen de ce remarquable travail, dans lequel le général Cavalli revendique, et à juste titre, la paternité des canons rayés. En 1846 déjà, le système Cavalli était complet et donnait des résultats très-remarquables dans les expériences faites à cette époque, par l'inventeur, en Suède, et plus tard en Angleterre.

Le canon Cavalli tirait un projectile oblong, à ailettes, et se chargeait par la culasse. On trouve donc réunis dans ce système les deux caractères

qui différencient aujourd'hui les deux grandes classes de canons rayés, savoir :

Ceux qui se chargent par la bouche et lancent des projectiles à tenons, tels que les systèmes français, hollandais, autrichiens, etc., et ceux qui tirent des projectiles emplombés et se chargent par la culasse, comme les canons Armstrong, Wahrendorff, etc.

Ce dernier présente même un mécanisme de culasse, analogue dans ses principales parties à celui de Cavalli.

Dans le mémoire en question, le général Cavalli exprime l'opinion qu'on gagne peu de chose sous le rapport de la précision du tir, en supprimant le vent du boulet.

« Dans le but, dit-il, de reconnaître combien « on gagnerait dans la justesse de tir par le char- « gement forcé (avec suppression du vent) sur le « chargement avec le plus petit vent possible, je « fis quelques tirs avec les mêmes projectiles en- « veloppés de papier collé pour ôter le vent; « mais quoique je n'aie pu faire qu'un très-petit « nombre de coups, je me suis aperçu de suite « qu'on ne gagnerait rien ou très-peu en justesse, « et, qu'attendu la complication qu'entraînerait le

« chargement forcé, il ne valait pas la peine de le « préférer au chargement non forcé, que dès lors « j'ai adopté. »

Et plus loin :

« Quand même on réussirait avec le tir forcé « (avec la suppression du vent) à obtenir un peu « plus de justesse, les différences déjà peu appré- « ciables, le deviendraient encore moins à la « guerre, où les erreurs du pointeur sont néces- « sairement bien plus grandes (1). Ainsi on est « aujourd'hui fondé plus que jamais, d'après les « nouveaux essais très-intéressants exécutés dans « divers États, à conclure qu'il *n'est pas nécessaire,* « *pour obtenir la plus grande justesse de tir pra-* « *ticable à la guerre*, *d'exécuter le tir forcé dans* « *les canons rayés*, et qu'il suffit que le projectile « soit maintenu bien centré dans son parcours « dans l'âme du canon. »

(1) Cette remarque est très-juste; c'est aussi celle faite par un officier suisse qui a assisté au siége de Gaëte et dont l'opinion est rapportée par la *Gazette militaire de Darmstadt* (avril 1861) : « Pour l'usage en campagne, *où les distances varient très-souvent*, un canon rayé peut avoir plusieurs désavantages, exigeant un pointage beaucoup plus précis que pour les canons lisses » et j'ajouterai : plus difficile à exécuter.

Tout en partageant l'opinion du général Cavalli, je dois faire remarquer qu'il est douteux que le résultat, indiqué par lui, soit réalisé dans son système, tandis qu'il est obtenu en France par une disposition particulière, qui donne lieu à une sorte de *forcement artificiel*.

Le problème à résoudre pour l'artillerie française était celui-ci : obtenir cette espèce de forcement, en permettant de charger facilement *par la bouche* et en l'appliquant, pour l'artillerie de campagne, aux canons en bronze.

Et cela, parce que tous les modes de chargement par la culasse connus, à l'exception peut-être de celui d'Engstrom, sont trop compliqués pour être usités en campagne ; et, en second lieu, parce que les canons en acier se dégradent trop rapidement par l'humidité et exigent trop de soins d'entretien. Quant à la fonte on n'y peut songer pour l'artillerie de campagne ; excepté toutefois en Suède, où l'on a de la fonte d'une qualité supérieure. Or, ce problème, on l'a résolu en France, par d'heureuses modifications apportées à la forme des rayures et des ailettes.

Cavalli n'admet pas que ces perfectionnements aient produit le résultat en question; selon lui, dans

le système français le forcement n'est pas réalisé, même artificiellement, et le projectile, dans son parcours dans l'âme, ne reste pas centré. « Dans « les canons rayés de bronze, dit-il, se chargeant « par la bouche, selon le système du très-habile « colonel d'artillerie Treuille de Beaulieu, on ne « peut admettre que les projectiles soient forcés, à « cause de *l'inclinaison des faces directrices des « rayures quoiqu'à chaque bond dans l'âme ils « puissent se forcer à l'instant par ladite disposi- « tion des rayures.* »

Tout dépend de la signification qu'on donne aux mots : dans le canon français le projectile ne sera pas *forcé* dans l'acception ordinaire du mot ; mais son mouvement dans l'âme sera régulier et les angles de départ seront uniformes ; c'est tout ce qu'on peut désirer. Il est vrai que Cavalli conteste qu'il en soit ainsi ; il prétend que dans le système français les battements du projectile ne sont pas supprimés et que, par suite, le tir n'est pas doué d'une grande justesse.

Théoriquement, il ne doit pas y avoir de battements ; car du moment que le projectile est centré au fond de l'âme, et c'est ce qui a lieu par le rétrécissement des rayures en cet endroit, il n'y a point

de raison pour qu'il ne reste point centré pendant tout son trajet dans l'âme, à cause de l'équilibre des forces centrifuges et de la neutralisation des pressions exercées sur les tenons par les faces des rayures.

Pratiquement, les résultats obtenus par les canons rayés français dénotent une grande exactitude dans le tir; exactitude relativement plus grande aux distances éloignées qu'à celles plus rapprochées. Et cela s'explique comme suit: c'est que, si le projectile ne fournit pas de battements, *à proprement parler*, il éprouve une sorte de tremblement dans son axe, précisément à cause de la conservation du vent, il en résulte qu'il est soumis à une espèce de mouvement oscillatoire, assez sensible dans les premiers instants de la trajectoire, mais qui s'éteint peu à peu et finit par disparaître sous l'influence régulatrice du mouvement de rotation.

A la page 16 de son mémoire, Cavalli reconnaît que son projectile en fonte, muni de deux ailettes venues de fonte, n'est pas applicable aux canons en bronze et que, pour rendre cette application possible, *en restant dans le même système*, on est obligé de faire comme en France, c'est-à-dire d'appliquer au projectile des ailettes ou tenons en métal mou, en zinc par exemple.

Mais, dit Cavalli, le zinc s'attache aux rayures, la pièce s'encrasse promptement, le tir devient inexact et le chargement difficile.

En outre, suivant lui, en voulant obtenir, comme en France, par la forme de la rayure, *à face directrice de tir inclinée*, le forcement en même temps que la rotation, on a augmenté les chances d'éclatement, à cause des chocs qu'éprouve la bouche à feu, lorsque le projectile, après l'impulsion reçue, cesse d'être en contact avec les *faces directrices du chargement* des rayures, pour venir s'appliquer brusquement contre *les faces directrices du tir*.

La première observation est exacte; mais le fait signalé a peu d'importance, les points de contact entre les tenons et les rayures étant peu nombreux et peu étendus; au reste, cette observation aurait bien plus sa raison d'être au sujet des projectiles emplombés : le plomb est un métal tendre et *gras*, qui encrasse rapidement les rayures, même dans les canons en acier, à tel point qu'on est obligé de compliquer encore le chargement de ces bouches à feu dans lesquelles ces sortes de projectiles sont employés, en interposant entre la charge et le projectile des corps gras destinés à lubrifier l'âme de

la bouche à feu. Que serait-ce donc s'il s'agissait de canons en bronze?

La seconde observation tendrait à faire croire que le général Cavalli a momentanément perdu de vue l'important perfectionnement apporté aux canons rayés français, par la diminution progressive de la largeur des rayures à l'emplacement du projectile ; grâce à cette disposition, le changement de contact des faces des tenons et des rayures s'opère insensiblement, sans chocs et sans à-coups.

Pour bien apprécier l'opinion émise par Cavalli, il faut se rappeler qu'il veut un canon en fonte, un projectile en fonte, muni d'ailettes également en fonte. Ce n'est pas par un forcement, soit naturel, soit artificiel, qu'il cherche à assurer la précision du tir, mais par une réduction du vent. Il en résulte que les deux rayures de son canon ne doivent servir qu'à conduire le projectile et à lui imprimer le mouvement de rotation, et non pas à obtenir l'effet produit par le forcement ; c'est pourquoi il en dirige les faces suivant les normales aux parois de l'âme. C'est, comme on voit, son système primitif; Cavalli prétend qu'il est supérieur à tous ceux qui sont venus depuis et qui n'en sont que des imitations plus ou moins modifiées... Très bien, et

je suis loin de blâmer le sentiment de l'auteur; mais il semble que sa renommée n'a rien à perdre à reconnaître que les perfectionnements apportés à son système ont pu l'améliorer; le mérite de l'invention n'en reste pas moins entier et incontestable.

Donc le canon Cavalli est en fonte; et, comme le projectile n'a qu'un très-petit vent, le chargement se fait par la culasse. Cavalli, je le sais, prétend que le chargement peut se faire également par la bouche et qu'il construit des canons pouvant se charger de cette façon. Je ne le conteste pas; mais, ou bien il sera obligé d'augmenter le vent du projectile ce qui nuira à la justesse du tir; ou bien il s'exposera, dans l'application, à ne plus pouvoir amener le projectile à fond, à cause de l'encrassement; en outre il arrivera que bon nombre de ces projectiles en fonte et à ailettes de fonte devront être rebutés, comme dépassant dans leurs dimensions les limites de tolérance, limites excessivement étroites. Cavalli reconnaît implicitement cet inconvénient lorsqu'il dit : « Si la coulée ne donnait pas des projectiles à « surfaces assez lisses, il est facile d'en raboter avec « une machine, ce qui leur procurerait des dimen- « sions plus justes... » Cette précision extrême, exigée dans la confection des projectiles, augmen-

tera considérablement les déchets de fabrication. Mieux vaudrait peut-être se résigner à conserver un vent plus grand ; telle est probablement aussi l'opinion de l'auteur ; c'est du moins ce qui semble résulter de sa 17e conclusion dans laquelle il dit, en parlant de canons se chargeant par la bouche, seuls convenables pour l'artillerie de campagne, que « ces bouches à feu peuvent alors tirer des « projectiles simplement en fonte, *avec le vent or-* « *dinaire*... »

En France, on a voulu conserver, pour l'artillerie de campagne, les canons en bronze, se chargeant par la bouche, à cause des avantages nombreux que présentent ces bouches à feu. Dès lors il fallait ménager un certain vent, pour que le chargement pût s'exécuter sans trop de difficultés; de sorte que, pour obtenir la précision du tir forcé, on se vit obligé d'adopter un tracé particulier pour la rayure. C'est ce que l'on fit, en inclinant la face directrice du tir et en la dirigeant suivant une perpendiculaire à la composante des deux forces qui produisent la rotation et le forcement.

Le système français ressemble donc beaucoup au système Cavalli, dont il dérive directement; tandis que les systèmes à tir forcé, avec projectiles

emplombés, s'en éloignent davantage, car ils n'ont de commun que le fait de se charger par la culasse.

Or, Cavalli se montre plus indulgent pour les systèmes qui se rapprochent le moins du sien propre et ce, en vertu de ce sentiment qui porte le catholique orthodoxe à témoigner plus de bienveillance aux hérétiques qu'aux schismatiques. Cavalli considère donc les canons à tir forcé (anglais et prussiens) comme supérieurs aux canons français, sous le double rapport de la précision du tir et de la solidité ; mais en même temps il les regarde comme inférieurs aux siens.

Cette préoccupation, fort naturelle du reste et que j'aurais mauvaise grâce à critiquer, explique l'appréciation suivante du célèbre auteur de l'artillerie rayée moderne :

« Dans le forcement ordinaire, produit par une « enveloppe du projectile en fonte d'un métal « mou, celle-ci s'étire et le forcement cède de « suite, au lieu de s'accroître comme dans les « rayures aux côtes inclinées (système français à « tenons) où le projectile agit comme un coin pour « faire éclater le canon. Ces mêmes causes qui mettent la bouche à feu rayée à la française en

« danger d'éclater, enlèvent au tir sa justesse; tan-
« dis que par le tir des projectiles à ailettes d'un
« seul jet de fonte douce (système Cavalli), dans
« des canons d'un métal plus dur que le bronze,
« tels que ceux de bonne fonte, de fer et d'acier,
« il est possible d'obtenir la même justesse de
« tir, praticable en guerre, que procure le char-
« gement forcé ordinaire (avec suppression du
« vent). »

Ainsi, selon Cavalli, dans le tir forcé des projectiles emplombés, le mobile s'amincit sous l'action du fluide élastique produit par la combustion de la charge et sa résistance, pour passer de l'état de repos à l'état de mouvement, est décroissante, de sorte que le projectile cède aisément et glisse facilement dans l'âme.

Cette opinion paraît exacte ; mais la conséquence qu'en tire Cavalli pour la préservation de la bouche à feu ne me semble pas justifiée. Aussitôt que son inertie est vaincue et que la déformation de son enveloppe, par la pression des parois de l'âme, commence à s'effectuer, le projectile obéit docilement à l'impulsion des gaz et tout danger d'éclatement disparaît, je le concède; mais avant d'en arriver là, le moteur a dû déployer un effort supé-

rieur à celui qu'aurait nécessité le déplacement d'un projectile laissant un certain vent; en effet, par la résistance que le projectile emplombé oppose à la déformation de son enveloppe et par le plus grand poids qu'il possède à égalité de calibre, il résiste plus énergiquement à l'impulsion initiale des gaz; il s'ensuit qu'avant que son inertie ne soit vaincue, ces derniers doivent atteindre un degré de tension beaucoup plus élevé que dans le cas où le vent est encore conservé. C'est en ce moment que le danger de rupture pour la bouche à feu est un maximum.

Dans les systèmes à tenons, le moment critique arriverait un peu plus tard, c'est-à-dire, d'après Cavalli, à l'instant où le projectile, déjà en mouvement, éprouve un temps d'arrêt par le changement de contact des faces; arrêté alors par les faces directrices du tir des rayures, contre lesquelles il vient butter, il formerait coin, de sorte qu'il y aurait accroissement brusque de tension et rupture possible des parois de la bouche à feu.

Si un semblable effet a pu se produire dans le principe, alors que le tracé des rayures, ainsi que je l'ai déjà fait observer, était encore imparfait, il est aujourd'hui complètement écarté.

« Les défauts des canons en bronze, dit encore « Cavalli, sont de s'user très-vite, de s'agrandir et, « poussés à bout, de crever aussi en se fendant « après avoir été agrandis. Dans les canons rayés « de bronze, ces défauts empirent la justesse de « tir plus vite encore ; ils deviennent souvent très- « graves, lorsque les bouts des ailettes s'écrasent « et sortent des rayures, les projectiles s'en- « clouent et font crever et même éclater le ca- « non.... »

Les défauts que reproche Cavalli aux canons rayés français, ont pu exister au début de l'introduction de ces nouvelles bouches à feu, alors que les procédés de fabrication étaient encore imparfaits, que la forme de la rayure laissait à désirer, que l'ajustage des tenons était défectueux ; mais aujourd'hui tous ces inconvénients ont disparu, par suite du jeu que les tenons peuvent avoir dans les rayures sans nuire à la justesse du tir et par suite aussi des perfectionnements introduits dans la fabrication, qui rendent l'ajustage des tenons aussi prompt que sûr et facile.

Mais, dit Cavalli, les tenons en zinc peuvent s'écraser, si on refoule le projectile avec force ; le cas s'est présenté dans la campagne d'Italie : « Plu- « sieurs canons de bronze (appartenant à l'artillerie

« piémontaise), rayés à la française, ont crevé à l'em-
« placement du projectile, parce que les canonniers
« avaient, par mégarde, *frappé* le projectile en char-
« geant et écrasé les ailettes. »

Cela prouve que l'instruction des canonniers servants laissait à désirer, puisqu'ils faisaient, avec les canons rayés, usage du refouloir, exactement comme avec les canons lisses. Et cela est d'autant plus incompréhensible que le chargement des deux systèmes ne différait précisément que par ce seul détail.

Mais une chose est à remarquer ; c'est que, lorsque le cas rapporté par Cavalli s'est présenté, le projectile s'est trouvé forcé par la pression de ses ailettes en zinc contre les parois de l'âme, à peu près comme les projectiles emplombés dans les canons rayés anglais et prussiens, à cette différence près que le vent n'était que partiellement supprimé. Eh bien, si c'est dans ces circonstances que crèvent les canons du modèle français, cela prouve, contrairement à l'opinion de Cavalli, que la rupture de la bouche à feu est plus à craindre lorsque le projectile est forcé par la pression de son enveloppe molle, comme en Prusse et en Angleterre, que

lorsque le forcement est obtenu d'une manière artificielle, comme en France.

« Les projectiles emplombés, dit encore l'auteur, « et ceux avec ailettes rapportées de métal mou, « exigent des soins particuliers pour leur conserva- « tion, en défaut desquelles des inconvénients gra- « ves peuvent s'ensuivre. »

Cela est très-exact pour les projectiles emplombés, qui doivent être conservés debout, isolés, sur des étagères ; mais quant aux projectiles à tenons de zinc, on les empile tout simplement en plein air, comme les projectiles sphériques, en les réunissant deux à deux par une broche traversant l'œil, comme on peut le voir dans les arsenaux français.

Si l'auteur accorde aux systèmes forcés la préférence sur le système français, il place son propre système beaucoup au-dessus des premiers. « Pour « ce système de tir, quoique non forcé, dit-il, la « plus grande justesse de tir en guerre est ainsi as- « surée dans les canons de métal dur, tels que ceux « de bonne fonte et d'acier, sans la complication « qu'entraîne le tir forcé des canons Wahrendorff « et Armstrong se chargeant par la culasse, ni avec « les inconvénients du tir des projectiles à tenons « rapportés de métal doux. »

Je ne puis partager entièrement l'avis de Cavalli en ce qui concerne les canons Armstrong et Wahrendorff; ces systèmes sont très-compliqués, il est vrai, mais ils possèdent une précision de tir tout à fait remarquable. Quant aux inconvénients attribués aux canons français, j'ai déjà fait observer que, s'ils ont existé dans le principe, ils ont disparu depuis, à tel point qu'aujourd'hui, le canon rayé en bronze, avec projectiles à tenons, adopté en France, possède une justesse de tir au moins égale à celle des autres systèmes connus, ne s'use pas plus rapidement qu'aucun autre; il n'est nullement exposé à crever par des chocs qu'exercerait le projectile contre les parois de l'âme et il possède de plus une qualité précieuse que les autres n'ont point: c'est une extrême simplicité dans le service; avantage qu'on ne saurait trop priser au point de vue pratique.

Mais en admettant, tout à fait gratuitement, l'existence des imperfections dont parle Cavalli, la thèse qu'il soutient, c'est-à-dire *la supériorité des canons en fonte et des projectiles à ailettes de métal dur*, ne serait pas encore démontrée; car ces inconvénients supposés n'existent point dans le nouveau et remarquable système de canons rayés ré-

cemment adopté en Autriche, canons en bronze, se chargeant par la bouche, avec ailettes en métal mou, appartenant par conséquent à la même famille que les canons français.

Et, puisque je suis amené à parler incidemment de la nouvelle artillerie autrichienne, le lecteur me permettra d'en dire quelques mots, par manière de digression.

Après la campagne de 1859 en Italie, l'artillerie autrichienne se trouva en possession d'un des nouveaux canons rayés dont l'artillerie française venait d'être pourvue au moment d'entrer en campagne. On s'empressa aussitôt en Autriche d'imiter la nouvelle pièce qui avait fait merveille à Solférino ; mais, soit que l'imitation fût imparfaite, soit, ce qui est plus probable, que la pièce capturée n'eût pas encore reçu les modifications apportées à la forme et à la disposition des rayures et des tenons, les essais faits avec les bouches à feu contrefaites, quoique ayant donné des résultats très-remarquables, ne parurent cependant point entièrement satisfaisants, quant à la précision du tir et à la conservation des rayures. On attribua la chose au trop grand vent du projectile et on chercha à le diminuer ; mais, reconnaissant les inconvénients du chargement par

la culasse pour les bouches à feu de campagne, on dirigea les recherches sur les moyens de restreindre le vent à des limites extrêmement réduites, tout en continuant de charger par la bouche. On y parvint en donnant à l'âme du canon une forme particulière, obtenue par une sorte de coin qui se meut sur une spirale d'Archimède, tracée sur le cylindre primitif de l'âme, et en recouvrant le projectile d'une enveloppe faite d'un alliage d'étain et de zinc, portant trois ailettes coulées de même métal, destinées à venir s'engager dans les rayures correspondantes de l'âme, dites *contre rayures*. Par ce tracé le vent était réduit le plus possible, mais, afin d'éviter les inconvénients que produisait, dans de semblables conditions, l'encrassement provenant des résidus de la combustion de la poudre ordinaire, on adopta pour moteur la poudre-coton. Ce système autrichien est très-ingénieux; il procure une justesse de tir remarquable et de grandes portées; il satisfait parfaitement aux conditions de service et d'efficacité, et vient se placer, sous ces divers rapports, à côté du système français; il se distingue de tous les systèmes connus par l'emploi sur une grande échelle du fulmi-coton, agent extrêmement puissant, qui peut produire des résultats très-avanta

geux et aussi des inconvénients très-graves; ce ne sera qu'après un usage suffisamment prolongé qu'il sera possible de faire en connaissance de cause la part des uns et des autres. En attendant, je suis porté à croire que, si l'artillerie autrichienne avait eu à sa disposition un des canons rayés actuellement en usage en France, elle n'aurait pas songé à le modifier.

Cavalli, dans son travail très-intéressant et très-instructif, s'étend longuement sur le chargement par la culasse, dont l'introduction dans l'artillerie moderne peut être considérée comme une véritable révolution; mais une révolution féconde et dont l'honneur revient tout entier au savant général. « Il y a, dit-il, trois conditions essentielles à « observer pour faire un bon canon se chargeant « par la culasse : solidité, simplicité et point de « fuite de gaz. »

Ces trois conditions, le système Cavalli, selon son auteur, les remplit aussi bien qu'on peut le désirer; il en est de même des systèmes Armstrong et Wahrendorff, qui sont des imitations perfectionnées du système Cavalli.

Mais, dit l'auteur, son mécanisme de culasse ne peut s'appliquer aux bouches à feu existantes, à

cause de la surépaisseur de métal qu'il nécessite à la culasse, pour que celle-ci soit encore capable d'une résistance suffisante, après avoir été percée latéralement d'une large ouverture pour le passage du coin. Cependant, ajoute-t-il, en Prusse on a appliqué aux canons existants le chargement par la culasse, suivant le système Wahrendorff.

Cette application n'est certes pas impossible; mais peut-il être utile de la faire? C'est ce qu'il convient d'examiner. Or, l'âme des canons lisses est déjà trop courte, telle qu'elle est, pour qu'ils puissent être avantageusement transformés purement et simplement en canons rayés; que sera-ce lorsque cette longueur sera encore diminuée par l'empiétement de l'appareil de culasse? En outre, la mortaise du verrou Wahrendorff, aussi bien que celle du coin Cavalli, affaiblit considérablement la culasse; il en résulte que, pour pouvoir se servir de canons transformés dans ces conditions, on est obligé de faire usage d'une charge moindre, circonstance qui influe encore défavorablement sur les résultats du tir.

« C'est pourquoi, ajoute l'auteur avec raison, « pour appliquer aux canons existants le charge- « ment par la culasse, peut-être devrait-on accor-

« der la préférence au système qui paraît avoir « réussi en France, de percer seulement l'âme à « travers la culasse et de boucher simplement le « fond avec une vis conique en acier. »

Le système auquel il est ainsi fait allusion, ne présente point d'ouverture transversale, le mécanisme est simple au lieu d'être double, les dimensions de la culasse ne doivent pas être augmentées dans le tracé de la bouche à feu, et la longueur de l'âme n'est point diminuée par le logement de l'appareil de culasse. Ce mode de fermeture est le plus simple de tous ceux actuellement connus ; il a une certaine analogie avec celui d'Engstrom, qui a été adopté en Suède, après de nombreux essais comparatifs, faits concurremment avec le système Wahrendorff, également d'origine suédoise.

En traitant, dans ses conclusions, de l'emploi des canons se chargeant par la culasse, le général Cavalli fait remarquer que « l'avantage de ces canons « ne ressort que pour les batteries de terre et sur « mer, où il convient de supprimer le recul et où « les canons mêmes servent à boucher toute l'ouverture des embrasures ou des sabords, de manière que peu de servants puissent charger, « pointer et tirer les plus grosses bouches à feu

« avec la plus grande célérité et lentement même « avec un seul canonnier. »

« Mais, dit-il, pour l'artillerie de siége et celle « pour les côtes élevées, partout où les batteries « sont moins exposées, et où elles doivent être « mobilisées, les canons se chargeant par la bou« che sont préférables. A plus forte raison doit-on « les préférer pour l'artillerie de campagne et de « montagne où la mobilité et la simplicité sont les « conditions les plus importantes à observer. »

Dans une question de cette nature, l'opinion de Cavalli, le promoteur des canons modernes se chargeant par la culasse, doit être considérée comme prépondérante et je m'y range entièrement.

Comme Cavalli, je suis convaincu que les canons se chargeant par la culasse, très-avantageux pour l'artillerie de place, de côte et de marine, ne conviennent nullement pour l'artillerie de bataille. Le service de ces sortes de bouches à feu est beaucoup trop compliqué ; leur mécanisme est trop sujet à se dégrader par les chocs, par les accidents qui arrivent fréquemment en marche, en campagne ; leur entretien exige des soins trop minutieux pour qu'on puisse songer à confier aux batteries de campagne, et même jusqu'à un certain point aux

batteries de siége, ces mécanismes trop perfectionnés et trop délicats pour être impunément exposés aux nombreuses causes de détérioration qui surgissent à chaque instant dans le service, parfois très-rude, des batteries mobiles.

En somme le chargement par la culasse présente pour les canons de campagne, des inconvénients graves et nombreux et aucun avantage sérieux. C'est ce que l'on comprend généralement partout aujourd'hui, excepté en Prusse, où l'on persiste à appliquer ce mode de chargement à toutes les bouches à feu rayées indistinctement, quelle que soit leur destination.

En Angleterre, au contraire, tous les efforts des hommes spéciaux sont dirigés vers les moyens propres à permettre de charger par la bouche les canons rayés à tir forcé; et, chose remarquable, ils se rapprochent visiblement dans leurs recherches et leurs essais, des principes sur lesquels est basé le système français.

Ainsi Armstrong propose, pour résoudre cet important problème, d'armer le projectile d'ailettes mi-partie de fonte et de zinc et de munir la bouche à feu de rayures particulières, dites rayures *à glissières*. Ces rayures présentent deux gradins,

l'un plus large, l'autre plus étroit; le plus large correspond *à la face directrice du chargement* et reçoit la partie fonte de l'ailette lors de l'introduction du projectile dans l'âme; quand celui-ci est projeté en avant par l'impulsion du fluide élastique, c'est sa partie zinc qui pénètre *de force* dans le gradin le plus étroit, lequel remplit le rôle de *face directrice du tir*. Cette ingénieuse combinaison repose donc sur le fait du changement de contact des faces des ailettes et des rayures, à l'instant où le projectile se met en mouvement; c'est la même considération qui a servi de base au système français.

Abordant l'importante question des fusées, Cavalli s'exprime comme suit :

« Le moyen d'assurer l'éclatement des projec-
« tiles creux réclame toujours l'attention des artil-
« leurs. Les fusées à un seul temps, généralement
« en usage, quoique moins difficiles à faire que
« celles à plusieurs temps, présentent le défaut de
« ne pas s'allumer toujours ou de s'éteindre en
« pénétrant dans les terres et dans l'eau. »

« Dans ces derniers temps on a imaginé des fu-
« sées à percussion, c'est-à-dire de celles qui font
« éclater le projectile, lorsqu'il rencontre un objet
« résistant et non en ricochant sur mer. »

« Dans quelques artilleries on avait introduit « des fusées qui éclatent au moindre choc (même « sur l'eau, comme en Prusse). »

« Cette facilité d'éclater, outre qu'elle est dan- « gereuse, empêche les ricochets, parce qu'au « premier bond l'explosion a lieu; et ceux qui « conservent à part ces fusées ne peuvent les em- « ployer que rarement. »

Et plus loin, dans ses conclusions : « Pour le « tir à shrapnels (obus à balles) ou d'un nouveau « projectile à mitraille, explosif à la distance vou- « lue jusqu'aux plus grandes, il faut nécessaire- « ment une fusée à plusieurs temps ou temps va- « riables ou plusieurs fusées ou plusieurs mèches « de réserve pour les diverses distances. »

Ainsi l'emploi des fusées à percussion en campagne doit être l'exception et celui des fusées à temps la règle.

C'est là une prescription très-judicieuse et parfaitement fondée, car le mode d'action des projectiles à percussion est tout spécial; à tel point que, si on voulait en généraliser l'usage dans l'artillerie de campagne, les conditions ordinaires du tir seraient entièrement bouleversées.

Ainsi, par exemple, le projectile devrait toucher

le sol à une certaine distance en avant des troupes ennemies, afin que, faisant explosion par suite du choc, il projetât vers le but ses éclats et les balles qu'il renfermerait.

Avec un pareil tir, il n'y a plus d'espace dangereux proprement dit, puisque l'objet à battre se trouve exposé à la branche *ascendante* du ricochet; de plus le projectile, par le choc qu'il éprouve, perd la majeure partie de la vitesse qui lui reste encore, de sorte que les éclats qui se dirigent vers l'ennemi en se relevant, ne sont plus doués d'une force vive suffisante pour agir avec efficacité. Il arrivera fréquemment aussi que le résultat obtenu sera nul, soit à cause d'une inexacte appréciation des distances, soit par suite d'un changement inopiné survenu dans la position d'un but, essentiellement mobile dans la guerre de campagne.

L'usage d'une fusée à percussion doit encore introduire des difficultés nouvelles dans les opérations du pointage, opérations déjà si délicates et si compliquées dans les canons rayés.

En outre, ces sortes d'artifices sont coûteux à confectionner, dangereux à manier et difficiles à conserver. Or la conservation des munitions et l'entretien du matériel, c'est une grosse affaire en fait

d'artillerie ; ce sera même, je crois, la pierre d'achoppement des systèmes à tir forcé.

Ainsi les projectiles à percussion ne doivent être employés en campagne que rarement et seulement dans certains cas particuliers.

De tous les États de l'Europe, la Prusse est le seul qui ait adopté l'usage exclusif des fusées à percussion pour toute son artillerie rayée.

Les fusées explosives usitées en Angleterre et en Autriche, sont les plus simples et les moins dangereuses à manier, surtout la fusée autrichienne ; mais on ne peut pas toujours compter sur leur réussite.

La fusée à percussion prussienne fonctionne admirablement, mais son emploi demande les précautions les plus minutieuses, car elle est très-sensible, trop sensible même. Elle présente en outre une complication tout à fait incompatible avec la condition de simplicité que doit remplir tout artifice destiné à l'artillerie de campagne. Cette fusée en effet se compose d'un grand nombre d'éléments, très-délicats et très-exposés à se détériorer en service et même en magasin. Ces éléments doivent être transportés séparément ; il faut les réunir et les adapter au projectile au moment d'entrer en action, ce qui exige de la part des servants

beaucoup de sang-froid, de prudence et d'adresse. C'est là, on en conviendra, une opération d'une réussite douteuse au milieu de l'empressement et de l'émotion qui animent le personnel à l'approche d'une affaire. Aussi n'est-il pas étonnant que les artilleurs allemands, malgré leur penchant pour les combinaisons plus recherchées que pratiques, se montrent généralement peu sympathiques à l'emploi d'un semblable artifice pour les canons de campagne et manifestent le désir d'en revenir à la fusée à temps.

Mais avoir une bonne fusée à temps, bien appropriée au service des canons rayés, c'est-à-dire douée d'une longue durée et d'une grande régularité de combustion et pouvant s'appliquer aisément à un projectile oblong, n'est pas un problème facile à résoudre, surtout quand il s'agit du tir forcé.

Chacun sait que la fusée française, à tête hexagonale, remarquable par sa simplicité, laisse à désirer sous le rapport de l'efficacité.

La fusée à temps, en usage en Angleterre pour les projectiles Armstrong, est d'une complication extrême et, du reste, ne réussit pas toujours.

En Autriche, on a adopté comme fusée à temps,

une fusée droite, dite fusée à ampoulette ; artifice d'une grande simplicité en lui-même, mais compliqué dans l'application, en ce sens que l'on compte 18 numéros de fusées correspondant à 18 distances : un numéro par distance.

Quoi qu'il en soit, en admettant même que l'on découvre une fusée à temps parfaite sous tous les rapports et pouvant être employée dans les tirs forcés, ces sortes de tir ne produiront pas néanmoins des effets bien puissants, des résultats bien efficaces, à cause de l'enveloppe de métal mou dont sont recouverts les projectiles tirés dans ces conditions. En effet, ou bien cette enveloppe est mince et peu adhérente, alors elle se coupe, se détache en tout ou en partie, ce qui influe défavorablement sur la régularité du tir ; ou elle est épaisse et très-adhérente, et alors elle diminue considérablement les effets de l'explosion qui est en partie étouffée sous la pression d'un métal compact et peu cassant.

En ce qui concerne les calibres, Cavalli émet l'opinion que le calibre de 4, adopté en France, est celui qui convient le mieux à l'artillerie de campagne rayée.

« Pour l'artillerie de campagne, dit-il, c'est le

« calibre de 9 1/2 centimètres qui a généralement « prévalu, malgré l'accroissement du poids des « projectiles et de l'ammunitionnement total qu'il « faudrait plutôt augmenter en nombre que ré- « duire. Mais la nouvelle artillerie française de « campagne de 8 1/2 centimètres si elle est infé- « rieure en puissance, surtout pour le tir à mi- « traille, est très-supérieure en mobilité aux « autres.

« En Chine elle a pu se tirer des terrains maré- « cageux avec les attelages de quatre petits chevaux « japonais, tandis que l'artillerie rayée anglaise « ne se tira de ces terrains qu'avec peine, malgré « les attelages de huit grands chevaux. Ainsi il est « évident que l'avantage de la mobilité est resté à « l'artillerie française, comme les poids réduits de « ses voitures le faisaient présager.

« La mobilité et la simplicité, surtout dans la « réduction du nombre des chevaux composant les « attelages des voitures, sont des avantages qu'il faut « rejoindre au plus haut degré en campagne. L'ar- « tillerie, qui est déjà si maltraitée par les tirs des « chasseurs ennemis, est exposée à être prompte- « ment détruite par la généralisation et la plus « longue portée et justesse des armes rayées ; aussi

« nous ne saurions refuser à l'artillerie française
« du calibre de 8 1/2 la préférence sur celle de 9
« 1/2 adoptée par les autres puissances. »

Non-seulement la nouvelle artillerie française se distingue entre toutes les autres par son extrême mobilité, mais elle est encore la plus simple à servir, la plus facile à entretenir et la moins coûteuse de toutes; avantages qui ne sont pas à dédaigner.

Si le mémoire du général Cavalli renferme des aperçus très-ingénieux et des considérations d'une grande portée pratique pour la science de l'artillerie, l'ingénieur et l'homme de guerre y trouveront également des réflexions très-intéressantes sur l'influence que l'introduction des canons rayés dans les armées modernes, doit exercer sur les principes de la fortification et de l'art militaire.

D'après Cavalli, « les systèmes plus ou moins an-
« ciens de fortification vont être complètement
« changés ; telle est l'opinion des officiers de plus
« de mérite de l'arme du génie, qui se sont pro-
« noncés surtout à la suite du siége de Gaëte. »



L'auteur invoque à bon droit, à l'appui de son opinion, les préceptes de l'Empereur Napoléon qui, jetant de Ste-Hélène un coup d'œil prophétique sur l'avenir de la fortification, conseille de renoncer à multiplier les petites places de guerre et engage à ne fortifier que les grandes positions stratégiques, destinées à être occupées par des armées entières; ces armées devant rester le plus longtemps possible maîtresses du terrain environnant, mais pouvant aussi au besoin trouver un abri derrière un solide retranchement continu, défendu par une grande quantité d'artillerie mobile; *quelques calibres de gros échantillon étant poussés en dehors de la ligne magistrale*, afin de dominer les abords de la position et tenir l'ennemi à distance.

Se rapprochant de plus en plus des idées de l'Empereur, les ingénieurs modernes se sont appliqués à augmenter sans cesse le développement des places de guerre et des forteresses détachées.

Entourer d'un retranchement non interrompu la position dont il importe de rester maître; protéger cette vaste enceinte par une ceinture de forts isolés, destinés à servir de points d'appui à l'armée de défense; donner à ces forts le plus de développement possible, afin de faciliter les opérations

défensives et de diminuer l'intensité du danger des feux courbes, en le répartissant sur une plus grande étendue ; leur affecter une garnison considérable et une nombreuse artillerie, afin d'obliger l'ennemi à un déploiement excessif de moyens d'attaque en personnel et en matériel. Tel est le système qui a été mis à exécution, lorsqu'on s'est enfin décidé à fortifier Paris ; tel est aussi à peu près le dernier mot de la fortification, au moment de la révolution qui va naître des modifications apportées dans l'attaque par l'invention des canons rayés.

Désormais la majeure partie des bouches à feu de siége seront aussi mobiles que les anciens canons de campagne, dits pièces de position ; il en résultera plus de simplicité dans la formation des équipages, plus de facilité dans la conduite des parcs et surtout plus de mobilité dans l'attaque. Quelle que soit l'étendue des forteresses isolées, elles ne pourront plus se soustraire à l'action de la nouvelle artillerie ; il faudrait non-seulement que toutes leurs batteries fussent blindées et bardées de fer, mais encore que toutes les maçonneries découvertes, casernes, magasins, réduits, fussent entièrement cuirassées ; conditions irréalisables.

Ce n'est donc point en donnant une extension

exagérée à ces sortes d'ouvrages qu'on pourra les préserver de la destruction ; ce n'est pas non plus en y accumulant, au détriment de la défense active, force troupes et force canons, qu'on parviendra à empêcher qu'ils ne tombent au pouvoir de l'ennemi. Il faut s'arrêter dans cette voie sans issue, il faut revenir sur ses pas et renoncer, pour défendre l'approche des enceintes à grand développement, à ces grands forts détachés, dont la construction absorbe des sommes énormes, dont la garde et la défense immobilisent une portion considérable des forces actives, dont la chute est pour l'armée et le pays une perte sensible, peut-être même un coup funeste et qui, tombés au pouvoir de l'ennemi, peuvent lui être d'un grand secours dans la poursuite de ses opérations ultérieures.

Pour les remplacer, Cavalli propose d'échelonner de distance en distance, soit en simple ceinture, soit en quinconce, un certain nombre de batteries cuirassées, dont l'étage inférieur servirait de logement au personnel, peu nombreux, strictement nécessaire pour le service, et dont la partie supérieure porterait une plate-forme tournante, armée de quelques canons rayés d'un fort calibre, se chargeant par la culasse et exempts de recul.

Ces espèces de *tours à la Monitor* seraient assez fortes pour se soutenir d'elles-mêmes ; ce seraient les *gros échantillons* poussés en dehors de la ligne magistrale dont parle l'Empereur ; elles se défendraient mutuellement et leurs feux se croiseraient sur tout l'espace intermédiaire laissé entre elles et battraient respectivement les angles morts aux abords de chacune d'elles ; elles porteraient leur action au loin dans la campagne et empêcheraient l'ennemi de bombarder la place centrale ; sous leur puissante protection, les troupes de la défense n'hésiteraient pas à se porter résolûment en avant avec leur artillerie mobile, pour se mesurer avec l'ennemi, leur retraite étant couverte et assurée.

Ces batteries formidables n'offrant qu'un but restreint au jet des bombes ennemies, seraient établies, non point dans des forts d'une grande étendue, mais dans de simples redoutes, dans de petits fortins, fermés par des retranchements terrassés, précédés d'un fossé, plein d'eau si possible, et assez profond pour intercepter les mines que l'ennemi serait tenté de pousser vers les tours ; ces retranchements n'auraient d'autre but que de mettre les défenseurs à l'abri d'une surprise, de leur permettre de respirer librement et de ne les forcer à rentrer

dans la tour que pour le service ou en cas d'une attaque. Le terre-plein de ces ouvrages serait miné, si la nature du terrain le permet, de sorte que les défenseurs pussent faire jouer les mines pendant que l'assaillant, décimé par le tir plongeant des tours voisines, se presserait au pied de la batterie pour la forcer. L'ennemi s'épuiserait ainsi en vains efforts pour s'emparer de ces invulnérables agents de destruction et cependant ne pourrait les négliger et passer outre pour s'approcher de la place, parce qu'il serait pris à revers par le feu terrible des canons rayés, tournant sur leur plate-forme et suivant impitoyablement l'assaillant de quelque côté qu'il se dirige.

« Grâce à ce nouveau système de fortification, « dit Cavalli, ce grand principe de Napoléon, de « porter loin de la place centrale la défense la plus « énergique, de pouvoir faire agir en ouverte cam« pagne la plus grande partie de la garnison et de « n'en renfermer que la moindre partie possible « dans les forts pour leur propre défense, serait réa« lisé ; outre l'avantage immense d'ôter à l'ennemi « la facilité de forcer en peu de jours la place en« tière par le bombardement ou de s'en rendre maî« tre par surprise, ce système permettrait encore de

« réduire à la cinquième partie, j'ose l'affirmer, les « énormes dépenses qu'exigent les ouvrages de forti- « fication permanente, à cause de l'occupation im- « mense de terrain, des grands mouvements de terre « et des grands développements de maçonneries « qu'il faut élever pour donner à ces ouvrages toute « la force nécessaire, » et ne distrairait plus, pour l'immobiliser et la sacrifier dans des forts isolés, la majeure partie des moyens de défense.

Ainsi l'armée de défense, entièrement active, disposant de toutes ses forces, de toutes ses ressources, campée en dehors de la place, protégée par ces formidables tours, sentinelles vigilantes, pourrait entreprendre de continuels retours offensifs, verrait son moral se relever peu à peu, son audace s'accroître et prolongerait sa résistance en campagne bien plus longtemps qu'elle ne pourrait le faire dans le système actuellement en vigueur.

Je ne suivrai pas Cavalli dans les intéressants détails qu'il donne concernant les batteries cuirassées, je me bornerai à dire que cet immense problème de rendre invulnérables à l'ennemi et supportables à la défense, les ouvrages de ce genre, paraît entièrement résolu aujourd'hui ; à tel point que les *tours à la Monitor* jouent dès à présent un rôle très-im-

portant dans les fortifications qu'on élève en Angleterre. Il est reconnu que ces batteries doivent être blindées d'une sorte de coupole de fer et garnies d'une cuirasse courbe ou formée de faces convenablement inclinées, afin que les projectiles, qui les frappent, rencontrent une surface sur laquelle ils glissent sans pénétrer ou rebondissent au loin par suite de l'obliquité des angles de chute.

Il faut enfin qu'elles soient assez solidement établies pour défier les efforts que tenterait contre elles un ennemi nombreux et entreprenant, et qu'elles résistent à tous les assauts, pareilles aux rochers inébranlables que battent sans cesse les vagues furieuses de l'Océan et au pied desquels elles expirent impuissantes.

DUCASTEL.

RÉSULTATS

DES

EXPÉRIENCES EXÉCUTÉES A WEST-POINT

(ÉTAT DE NEW-YORK)

AVEC DES BOUCHES A FEU DE GROS CALIBRE SUR DES CANONNIÈRES DE CASEMATES PENDANT LES ANNÉES 1852, 1853, 1854 ET 1855.

(Voir le numéro de novembre et décembre, page 463).

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Conséquences à tirer des effets produits par les diverses espèces de projectiles employés à battre les canonnières.

I

Les expériences exécutées au polygone de West-Point ne sont pas de nature à permettre d'en tirer des conclusions absolues sur la résistance opposée à l'action des projectiles de gros calibre par les diverses espèces de maçonnerie, de granit, de brique et de bletong; car le durcissement du mortier dont dépend la force de résistance de la brique et du bletong, ne peut pas devenir intense dans l'espace de quelques mois.

Les murs construits de grandes assises de pierres de taille, en rang horizontal avec un petit nombre de jointures, ne reçoivent de l'interposition d'une mince couche de mortier de liaison qu'une médiocre augmentation de résistance contre la force qui les attaque. Or, toutes les constructions de brique et de bletong abondent en couches d'union. Il n'est pas possible qu'un espace de 13 et de 15 mois suffise pour communiquer à ces matériaux une solidité comparable à celle du granit. Il n'est donc pas étonnant que leur résistance se soit rencontrée moindre de fait, et que le bletong se soit montré inférieur à la brique.

Toutefois il reste à faire quelques observations intéressantes.

Par exemple, dans les matériaux mous, la force du choc se limitait presqu'au point où elle frappait, elle y restait, pour ainsi dire, amortie ; le projectile, sans se briser, s'ouvrait un passage à travers la masse qu'il rencontrait. Dans le granit, les boulets se brisaient et pénétraient à peine dans la pierre, tout en produisant quelques crevasses et gerçures ; mais l'impulsion du choc qui ne s'amortissait pas au moment de la pénétration du projectile, se transmettait au mur, de manière à y causer une

vibration qui le disloquait au point d'en faire sortir des pierres éloignées de la région d'impulsion.

Ces mouvements de vibration étaient beaucoup plus intenses à la partie de but construite en granit que partout ailleurs, à tel point que des pierres sautaient de la maçonnerie ordinaire qui formait le parement intérieur, et qu'elles ne correspondaient pas exactement à la région de parements extérieurs sur laquelle portait le choc; de plus, 3 ou 4 pierres qui étaient solidement assises et dont les jointures étaient irréprochables, tombèrent à 3 ou 4 pouces (0 m. 076 ou 0 m. 102) (1) en dehors du parement et toute la maçonnerie voisine de l'extrémité du but jusqu'à la partie supérieure fut complètement désorganisée. Le mouvement des assises de granit était très faible vers la partie inférieure de mur voisine des fondations, et vers la gauche au point où les assises étaient unies au bletong et au cément. L'énergie de ces mouvements vibratoires fut grande, comme le démontrèrent les effets produits; et, malgré le peu d'ampleur d'oscillation bien constaté, il aurait été possible de la mesurer, si l'on avait pris quelques moyens pour le faire.

(1) Yard = 3 pieds, pied = 12 pouces = $0^{m}30,479$. Livre (troy) = 12 onces = 373 gr. 20.

Comme nous avons déjà dit, les projectiles de grand calibre (128 livres) ne pénétrèrent que peu dans les assises de granit; mais les projectiles même d'un moindre calibre (94 livres) produisirent, du premier coup, des crevasses qui s'étendirent en différentes directions et qui traversèrent complètement la pierre sur laquelle donnait le projectile. Le même effet se produisit sur les grandes assises et sur les petites, et les boulets ultérieurs les trouvèrent ensuite dans des conditions plus convenables pour les réduire en fragments plus petits, jusqu'à les réduire en poussière. Les effets observés font naître l'espérance fondée que les fentes produites par le choc de projectiles, gros calibre, lancés avec grande vitesse, quelque peu perceptibles qu'elles soient au commencement, se prolongent sur toute l'étendue de la masse cristalline, c'est-à-dire que l'assise de pierres sera traversée jusqu'à la rencontre d'une jointure. Il s'ensuit qu'on n'obtiendra pas une plus grande résistance contre ces coups par l'emploi de grandes assises, comme il est facile de s'en convaincre à première vue.

Sans aucun doute, les pierres d'origine sédimentaire, tels que les arsénites, sont moins sujettes à se briser dans ces expériences que celles de struc-

dents assez importants. Dans un cas particulier, un projectile de mitraille arracha de l'arète inférieure de la jouée, un morceau de 2 pieds de long et 8 pouces carrés de section (0 m. 609 et 0 m. 062), qui entra à travers la gorge de la canonnière. Tous les contours extérieurs changèrent complètement par suite de cet effet, et il en est résulté la nécessité démontrée jusqu'à l'évidence, de protéger ces arètes contre les petits projectiles pour toutes les espèces de canonnières par des cadres formés de plaques de fer forgé.

Toutes les formes de canonnières ont besoin de ce renfort, mais surtout celles dont les jouées sont inclinées de manière à laisser entrer les projectiles par réflexion à travers le col ou la gorge.

Les plaques de palastre d'un demi-pouce (0 m. 012) d'épaisseur, ont donné de bons résultats, quand elles étaient employées à revêtir les planches des canonnières dont les jouées étaient tracées en crémaillère; les mêmes plaques peuvent aussi servir pour protéger les arètes.

Le bletong d'alsphalte s'est trouvé beaucoup plus fragile qu'on ne s'y était attendu, bien qu'il ne fût expérimenté qu'avec de petits projectiles et à la saison d'été. Sous les autres rapports il ne soutient

pas la comparaison avec les autres espèces de matériaux. La difficulté consiste à lui faire garder sa forme ; on n'y réussit pas lors même qu'à l'état de la plus grande mollesse on y mêle une grande quantité de bitume. Cependant il peut être utilement employé dans quelques cas spéciaux pour canonnières ou meurtrières.

Après le fer forgé, c'est le bletong de plomb qui a donné les meilleurs résultats.

C'est le major R. Delafield, du corps des ingénieurs des Etats-Unis, qui s'en est servi le premier pour former les jouées extérieures des canonnières. Bien que moins résistant et plus coûteux que le fer forgé, ce bletong est un matériel éminemment avantageux pour certaines parties de canonnière ; car, avec une résistance suffisante, il n'a pas l'inconvénient de se fendre ni de dégager des étincelles, et il se prête avec la plus grande facilité à remplir solidement des espaces de forme irrégulière et à renforcer des parties faibles qui ne pourraient pas être assurées d'une autre manière. Les projectiles de gros calibre lancés avec de fortes charges y pénètrent d'un peu plus que leur diamètre et restent plaqués dans la masse formant une pénétration d'une forme analogue au projectile.

La masse formée de ce bletong n'offre pas de crevasses ni ne jette en général de fragments, et, quand ce dernier cas se réalise, les fragments ne sont pas petits ni dangereux. Les maçonneries adjacentes se fendent quelquefois ; mais le dommage qui en résulte n'est pas plus grand que celui qui aurait lieu dans toute autre combinaison. La mitraille produit, quoique sur une moindre échelle, les mêmes effets que les boulets de canon : aucun projectile lancé sur le plomb ne se brise ni ne se réfléchit.

Les expériences faites sur le fer forgé donnent lieu à quelques conclusions importantes :

1° Il a déjà été dit plus haut qu'une plaque de fer de 8 pouces (0^m,203) d'épaisseur, de bonne qualité, placée devant un mur de 3 pieds (0^m,914) d'épaisseur arrêtait un boulet lancé par un canon-obusier de 8 pouces (0^m,203) de diamètre, chargé de 10,25 livres (382530 gr.) de poudre, à la distance de 200 yards (183 mètres.)

Les plaques souffrent beaucoup au point de choc, parce que le boulet se forme un lit d'environ un hémisphère où il reste des morceaux qui peuvent facilement être séparés : de plus, les plaques se recourbent souvent. La maçonnerie de derrière se fend d'une manière assez considérable, et si elle

n'est pas bien liée, elle éprouve un mouvement appréciable; mais si elle n'est pas unie à d'autres masses grandes et immédiates par les côtés, le dommage général serait plus important.

2° Cette plaque serait beaucoup plus forte si, au lieu d'être formée de l'union de plusieurs barres minces, elle était forgée tout d'une pièce. L'union de ces parties est effectuée par le moyen de boulons et de rivures, qui sont rompus par les petits chocs, ce qui désunit les lames, de manière que celles-ci ne présentent plus alors qu'une série de petites résistances isolées.

3° L'épaisseur de 9 pouces (0m,228) est suffisante pour produire une résistance éprouvée contre les projectiles de mitraille de gros calibre. Avec cette épaisseur, les plaques ne peuvent être traversées ou courbées que par des boulets de canon ou par des bombes. L'expérience a démontré la nécessité de cacher les gonds et les points de sujétion, même à l'action des projectiles de très-petit calibre.

4° Les plaques de palastre d'un demi-pouce (0m,012) d'épaisseur sont destinées à protéger les arêtes extérieures et les planches des jouées en crémaillère contre l'action de la mitraille. La fragilité du fer fondu ne permet pas de l'employer

comme objet de résistance direct contre le choc des boulets de canon. Cependant on a voulu essayer s'il ne serait pas possible d'utiliser la grande force de résistance dont il est doué, en transportant le choc sur une surface considérable de ce matériel, au moyen d'une plaque de fer forgé d'une grande épaisseur. On a formé celle-ci de huit plaques partielles d'un demi-pouce (0^{m},012) d'épaisseur, solidement unies entre elles ; et après avoir mis en contact les deux masses de fer bien lisses, on les unit également d'une manière étroite ; mais le fer fondu creva toujours ou se fendit, lorsque le projectile frappa sur la plaque de devant.

L'usage de ce matériel doit donc se limiter, dans la construction des canonnières, aux crampons, aux clous sans tête, etc., etc., et ne doit jamais s'employer comme moyen de résistance direct contre l'action des projectiles.

II

Dimensions et forme de l'ouverture extérieure de la canonnière.

L'importance de la réduction des canonnières à un minimum d'ouverture extérieure, se déduit assez clairement des expériences dont nous avons parlé. Cette réduction est commandée par deux

raisons : 1° parce que le nombre des projectiles qui touchent la canonnière augmente avec les dimensions de celle-ci ; 2° parce que, quelle que soit la forme de la canonnière, le développement des arêtes, qui sont la partie la plus faible et par conséquent celle qui souffre le plus, sera aussi très-considérable.

Bien qu'il suffise d'énoncer ces deux propositions pour en faire comprendre la vérité et l'importance, il paraît que des ingénieurs étrangers contemporains ne l'ont pas reconnue, surtout celle de la première proposition. Ils ont, jusqu'à un certain point, tenu compte de l'importance de la seconde, en arrondissant les arêtes extérieures et en formant les jouées de grandes assises de pierres de taille ; mais en donnant des dimensions excessives à l'ouverture extérieure, ils ont cru éviter cet inconvénient. Par exemple, dans une grande batterie casematée construite en Europe dans le dernier demi-siècle pour la défense d'un grand port de mer, les canonnières ont 54 pieds carrés (5^{mq},022) d'ouverture extérieure pour obtenir un angle de tir de 40 degrés, tandis que dans les canonnières du second but américain, lesquelles donnent toute l'élévation et la dépression nécessaires et un angle

de tir de 60 degrés, l'ouverture extérieure n'a pas plus de 8, 9 pieds carrés (0^{mc},83).

Il est facile de démontrer les conséquences qu'un élargissement d'ouverture aussi peu nécessaire entraîne dans la pratique.

Supposons un navire de 100 canons placé à portée de la mitraille d'une batterie casematée de côte, de la même longueur et de la même hauteur que le bâtiment de mer : la batterie côtière peut opposer 24 bouches à feu rangées sur deux ordres aux 50 bouches à feu du navire. Chaque bouche à feu du navire fera partir un coup de trois minutes en trois minutes, ou dix coups par demi-heure; par conséquent les 50 bouches tireront 500 coups dans le même temps. Avec 156 projectiles dans chaque décharge de mitraille pour le canon de 32, qui pèse 31,5 livres (11755^{gr},8), le nombre total de projectiles en une demi-heure sera de 78,000, sur lesquels, vu la distance et les dimensions du but, nous supposerons que 39,000 seulement donnent sur la surface totale de 6,000 pieds carrés (558^{mc}), c'est-à-dire 6,5 balles pour chaque pied carré (0^{mc},093).

Avec les dimensions des canonnières du second but américain, 58 balles correspondent à 8,9 pieds

carrés (0^{mc},8277), surface d'une canonnière. De ces 58 balles, la canonnière européenne déjà mentionnée de 54 pieds carrés (5^{mc},022) d'ouverture recevra par demi-heure 351 balles.

Si nous supposons que la mitraille est de balles de fusil, chaque canon de 32 en lancera 638 par coup, et 26 balles correspondront à un pied carré (0^{mc},093) de but. La petite canonnière en recevra 231 par demi-heure, et la grande en recevra dans le même temps 1,404.

Si l'on veut se rendre compte du degré auquel les servants des pièces sont exposés, supposons que les bouches à feu du navire aient 8 pouces (0^{m},203) de diamètre ; beaucoup d'artilleurs regardent déjà ce calibre comme grand, et la tendance générale est encore à l'augmenter; ces pièces seront chargées de 294 balles de fer de 1,05 pouce (0^{m},527), ou de 1,243 balles de fusil.

Avec les projectiles de la première espèce, douze balles correspondent par demi-heure à chaque pied carré (0^{mc},093) du but, 106 correspondent à la surface de la petite canonnière, 648 correspondent à celle de la grande canonnière.

Avec les projectiles de la seconde espèce, 51 balles correspondent par demi-heure à un pied carré

(0m,003) du but, 453 correspondent à la petite canonnière, 2,754 correspondent à la grande canonnière.

Dans toutes les expériences que nous avons décrites, les balles de fusil lancées en mitraille à la distance de 200 yards (183m) traversèrent les buts de planches de pin de 1 pouce (0m,025) d'épaisseur, soit par voie directe, soit par réflexion.

Nulle part on n'a observé que les balles se fussent rencontrées pendant le trajet; toutes les marques et traces qui se trouvaient au but et aux planches étaient telles qu'on voyait clairement qu'elles étaient l'effet d'un seul projectile.

Les effets de la mitraille de fer de petit calibre — 1,05 pouce (0m,027) de diamètre furent très-considérables; quand ils se divisaient sur les jouées de granit des canonnières, les fragments d'une certaine grandeur traversaient les planches; quand ils tombaient sur les jouées de brique ou de cément, ils détachaient des morceaux ou des écailles de 3 pouces (0m,76) de diamètre et de 1,5 (0m,38) de profondeur; aux alentours immédiats des arêtes, ils arrachaient de grands morceaux, même aux arêtes de granit. Ces effets ont donc assez de force pour mettre hors de combat les servants des

pièces et, par suite, pour faire taire leur feu.

Ces mêmes expériences font voir les conséquences qui résultent de l'agrandissement inutile des dimensions de l'ouverture extérieure des canonnières. Dans la figure 39, Pl. V, le carré intérieur représente la canonnière n° 7, et le carré extérieur représente une des canonnières de la première batterie casematée construite en Amérique et terminée en 1810 : les dimensions extérieures de la canonnière n° 7 sont : 3 pieds 4 pouces × 2 pieds 8 pouces = 8 pieds carrés ($0^{mc},744$); celles de la seconde : 5 pieds × 4 pieds = 20 pieds carrés ($1^{mc},86$). Pendant la durée des expériences décrites, 108 projectiles de diverses espèces de mitraille tombèrent sur la surface comprise entre les deux canonnières ou sur la différence d'aire égale à 11,1 pieds ($1^{mc},032$) : 108 est le nombre total des coups lancés avec ces projectiles.

Le nombre total des petits coups lancés sur les deux buts pendant tout le cours des expériences, en tenant compte de toutes les espèces de mitraille et des bombes chargées de balles, était de 32,255 : c'est-à-dire, un nombre de coups moindre que celui qu'auraient donné 51 pièces de 32 chargées de mitraille de balles de fusil : ce dernier nombre est

à peu près celui d'une volée de côté du navire = $639 \times 51 = 32,589$.

Les 108 boulets seraient entrés dans la canonnière, si celle-ci eût été construite d'après l'ancien modèle ; mais encore ce dernier nombre est d'un tiers moindre que celui du modèle européen dont nous avons parlé : il s'ensuit que, dans le même espace de temps, il serait entré dans celui-ci 438 boulets de plus qu'il n'en passa par la canonnière n° 7.

Les épreuves faites, le but étant pris pour point de départ des coups, ont démontré que, les canonnières étant bien construites, il suffit, pour empêcher le souffle d'y produire du dégât, que le projectile passe à un pouce ($0^m,025$) de distance de l'arête extérieure, lorsqu'on tire avec la plus grande obliquité, dépression ou élévation. C'est donc là la condition qui limite l'ouverture extérieure, lorsqu'on emploie des matériaux de résistance. Le minimum des dimensions du col se détermine par les diverses positions que la pièce occupe entre les limites de l'obliquité que l'on veut obtenir de la canonnière ; et la section extérieure sera d'autant plus grande que le col est plus distant du parement extérieur : celui-ci doit donc être rap-

proché autant que le permettent le service de la pièce et son affût. Les surfaces qui unissent les deux ouvertures sont communément planes et inclinées : elles ont le grand inconvénient d'introduire, par réflexion, tous les projectiles qui tombent dans des directions à peu près parallèles à la directrice ; elles produisent, par conséquent, le même effet, par rapport aux artilleurs, que si les dimensions du col étaient égales à celles du parement extérieur. Ce fait est parfaitement prouvé par le grand nombre de projectiles qui entrèrent par réflexion dans la canonnière.

Si les jouées extérieures de la canonnière (fig. 40, Pl. V) sont tracées suivant la ligne brisée *abc*, au lieu de la droite *ac*, les projectiles réfléchis resteront arrêtés en *ab*.

La résistance de la canonnière est beaucoup diminuée par la suppression du triangle *abc*; mais cet inconvénient peut être corrigé en adoptant, pour la partie *ab*, un matériel beaucoup plus résistant que la pierre de taille ou la maçonnerie dont les jouées et les alléges de la forme antérieure étaient construites ; et ce matériel, comme nous le verrons tout à l'heure, doit encore être employé pour d'autres raisons.

Il est évident que, si l'épaisseur *fg* du mur est nécessaire pour résister à l'action des projectiles de gros calibre, aucun boulet, tombant entre les points *fg* et *fg*, ne pourra rencontrer une résistance suffisante, la forme de la canonnière étant *caf*. Mais un matériel plus fort étant placé de chaque côté de ce col, il peut être remédié à ce défaut de résistance, sans qu'il soit besoin de remplir l'espace vide *abc*, parce qu'il suffira que ce matériel ait une épaisseur légère pour compenser le défaut.

Il est également évident qu'en prolongeant la portion de ce matériel résistant à gauche et à droite et en adoptant cette nouvelle forme de jouée, on obtiendra un mur plus résistant à la partie où la canonnière est ouverte que précédemment. En même temps, tous les projectiles qui n'entrent pas directement dans la canonnière et qui touchent aux murailles, resteront arrêtés, soit au parement, soit à la gorge.

Les expériences américaines démontrent que le fer forgé est le matériel le plus convenable pour cet objet, et que ce matériel solidement uni à la maçonnerie, avec une épaisseur de 8 pouces (0 m. 203), résiste au boulet lancé par le canon de 8

pouces chargé de 10, 25 livres de poudre à la distance de 200 yards (183 m.). D'après les observations faites, il est nécessaire que les plaques aient une largeur suffisante pour empêcher qu'elles ne soient arrachées de la maçonnerie par le boulet.

Pour augmenter la force de résistance, en enclavant davantage les plaques dans la maçonnerie de la canonnière, on a projeté des renforts rectangulaires appliqués à la jouée dans l'espace *a b c*, comme on peut voir aux lignes ponctuées de la figure. Les boulets s'arrêtent presque aussi bien qu'à la surface *ab* et augmentent un peu la résistance des jouées. Cet espace étant environné d'un cadre de plaques d'un demi-pouce (0 m. 012), les petits projectiles ne causent aucun dégât, mais ils augmentent le nombre de coups qui introduisent les gros projectiles dans la casemate, et font voir que la canonnière n'en a pas éprouvé une amélioration essentielle. Il faut que l'augmentation de résistance soit obtenue par d'autres moyens.

Nous allons donner un extrait des observations faites aux expériences américaines, relativement au nombre des projectiles arrêtés ou renvoyés par les jouées de différente forme.

Le nombre des projectiles entrés par réflexion

dans les canonnières nos 1, 2 et 4 de fronts plans était 40 : le nombre des projectiles réfléchis était 2. La fraction $^{40}/_{42}$ exprime la proportion des projectiles réfléchis, et $^{2}/_{40}$ celle des projectiles arrêtés.

Aux canonnières ayant les jouées en crémaillère, le nombre total des projectiles était 19, et celui des projectiles arrêtés, 326, de sorte que, dans ce cas, la fraction $^{19}/_{345}$ représente la proportion des projectiles réfléchis, et $^{326}/_{345}$ celle des projectiles arrêtés.

Ces proportions peuvent être représentées de la manière suivante :

Canonnières à jouées planes et inclinées : 5 projectiles arrêtés pour cent, 95 réfléchis pour cent.

Canonnières à jouées perpendiculaires ou parements : 94 projectiles arrêtés pour cent, 6 réfléchis pour cent.

Comme il était de la plus haute importance d'observer l'effet produit par les petits projectiles sur les jouées modifiées, nous remarquons que la plupart des coups lancés par les projectiles de cette espèce portaient décidément sur ces objectifs, ce qui explique le nombre si considérable de boulets mis en compte. Il résulte donc des observations qui précèdent que, si les jouées inclinées sont rempla-

cées par des jouées perpendiculaires et parallèles au plan de la gorge ou au plan en crémaillère, il n'entrera dans la casemate que les projectiles agissant directement sans toucher à la canonnière, à l'exception du très-petit nombre des projectiles réfléchis pour avoir donné sur les arêtes de l'ouverture extérieure.

Calculant le nombre des projectiles qui passent directement à travers la gorge et qui sont lancés par un navire de 100 canons pendant une demi-heure, nous prendrons les dimensions du col ou de la gorge des canonnières du but américain, qui étaient de 1 pied 6 pouces (0 m. 46) de large sur 2 pieds 7 pouces (0 m. 79) de haut, ce qui donne une surface de 3, 9 pieds (0^{mc},837).

Les nombres seront les suivants :

Pour un canon de 32 chargé à mitraille de 1,05 pouces (0^{m},027) de diamètre :

25 projectiles passant à travers la gorge de la canonnière du but;

58 projectiles dans l'ouverture extérieure de la même canonnière ;

351 sur toute l'ouverture de la canonnière européenne.

Pour le canon de 8 pouces, chargé de mitraille de fer chargé de 1 pouce $^{3}/_{10}$ de diamètre :

46 projectiles à travers la gorge de la canonnière ;

106 sur toute la surface de la même ;

648 sur toute la surface de la canonnière européenne.

Pour le canon de 32, lançant de la mitraille de balles de fusil :

101 projectiles à travers la gorge de la canonnière ;

231 sur toute la surface de la même ;

1404 sur toute la surface de la canonnière européenne.

Pour le canon de 8 pouces, lançant de la mitraille de balles de fusil :

198 projectiles à travers la gorge de la canonnière ;

553 sur toute la surface de la même ;

2754 sur toute la surface de la canonnière européenne.

(La suite au prochain numéro.)

Moyen chimique pour accélérer le percement de l'acier, par M. de Pervenger.

On trouve dans la *Revue technologiste* l'exposition d'un procédé, expérimenté d'abord par M. Scheden, qui facilite et accélère le percement de l'acier.

L'établissement de construction de M. A. Borsig à Moabit était, aux termes de son traité, obligé de livrer, dans un délai déterminé, pour une des provinces les plus reculées de la Russie, une scierie marchant à la vapeur et ayant encore, pour compléter ce travail, à percer une centaine de trous dans un acier fort dur qui composait les lames.

L'ingénieur constructeur, pour que la machine pût être livrée en temps utile, a eu recours à un moyen de percement qu'il est bon de faire connaître.

M. Scheden se rappela qu'on avait proposé, il y a quelques années, de percer le verre en humectant les outils avec de l'essence de térébenthine dans laquelle un peu de camphre avait été dissous, et qu'à

défaut de ce dernier corps, on pouvait se borner à mouiller les forets avec cette essence.

Cette simple manipulation a réussi au delà de toute attente sur l'acier, et le même foret qui auparavant mordait à peine, a vivement attaqué les points les plus durs des lames d'acier et les a percés en quelques minutes.

On peut remplacer l'essence de térébenthine par une autre essence ou hydrocarbure exempt de résine, par exemple, l'essence ou huile légère dite photogène, et faire usage de ce corps même sur les fontes moulées les plus dures.

Dans tous les cas, il faut éviter l'emploi simultané des huiles grasses et veiller à ce que le point que l'on perce et le foret dont on se sert, ne soient ni trop mouillés d'essence, ni laissés trop secs; un peu d'attention suffit pour faire reconnaître le degré d'humectation nécessaire.

Bien que les fluides indiqués fournissent, sans camphre, de très-bons résultats sur verre, l'addition de quelques centigrammes de ce corps par décilitre favorise notablement le percement. Dans l'espace de quelques minutes, on perce le verre même avec un outil à la main.

Dans ce dernier cas, on se sert d'abord d'un petit



tiers-point fin, dont on a légèrement arrondi le bout, puis plus tard, pour agrandir ce petit trou et d'après sa forme, on fait usage d'une lime douce convenable. Ici encore, une trop grande abondance de fluide s'oppose au percement, surtout à la première attaque du verre.

La théorie de cet effet des hydrocarbures volatils sur des corps durs tout à fait hétérogènes paraît se fonder principalement sur ce que les premiers possèdent, au moyen de la chaleur produite par le frottement, la faculté de s'insinuer entre chacune des particules qui constituent les cristaux du fer ou des combinaisons de la silice, et de diminuer ou de modifier la cohésion de ces corps.

Les faits qui viennent d'être rapportés, conduiront aussi à quelques résultats pratiques pour le percement des pierres dures ou siliceuses et des roches : déjà quelques expériences faites dans cette direction ont fourni des résultats favorables. La méthode indiquée donne le moyen cherché depuis si longtemps pour mettre les ouvriers à l'abri des poussières qui finissent par attaquer dangereusement les organes de la respiration.

Formation du fer par des insectes métallurgistes,

par M. de Trans.

Un naturaliste suédois, M. Sjogreen, a publié récemment un mémoire des plus curieux sur un minerai de fer qui est l'œuvre directe d'animalcules infusoires vivant au sein des eaux douces. Le minerai ferrugineux, connu sous le nom de *lake-ore* (minerai de lac), est assez abondant dans certains cours d'eau de la Suède pour être soumis à l'exploitation dans les usines.

Le naturaliste suédois a été assez heureux pour saisir le mode de formation, fort étrange, de ce minerai, que des insectes semblent, pour ainsi dire, ourdir au sein des eaux, comme le savant micrographe Ehrenberg l'avait déjà observé sur le fer limoneux, qui est produit par des animalcules fossiles, les *gaillonella ferruginea*.

Le mémoire de M. Sjogreen a été composé à propos de l'envoi de divers échantillons de ce minerai à la dernière exposition de Londres. Nous allons exposer les faits essentiels contenus dans ce travail.

Le minerai de fer connu sous le nom de *lake-ore*

se rencontre dans divers lacs et cours d'eau de la Suède, mais principalement dans la province de Smaland, située dans la partie méridionale de ce pays. Ce minerai affecte cinq formes différentes que l'on désigne en Suède par autant de noms particuliers. Il renferme de 20 à 60 p. 100 d'oxyde de fer, mêlé à l'oxyde de manganèse, à 10 p. 100 de chlore et à quelques centièmes d'acide phosphorique. Il se trouve toujours dans les bas-fonds des lacs.

Les gisements peuvent avoir jusqu'à 200 mètres de longueur, de 5 à 10 mètres de largeur et de 8 à 30 pouces d'épaisseur.

En 1847 et en 1849, M. Sjogreen put observer le mode de formation de ces grains ferrugineux, résultat direct de la vie organique. Un lac de son voisinage avait beaucoup baissé de niveau et permettait de suivre l'évolution du minerai. Le bas-fonds était en partie resté à découvert, il existait des dépressions remplies d'eau et occupées par les insectes ou infusoires métallurgistes.

Ces dépressions offraient un spectacle étrange et merveilleux. Au fond, qui avait de 15 centimètres à 1 mètre de diamètre, s'agitaient sur le minerai de petits êtres de différentes tailles, les uns visibles

à l'œil nu, les autres si petits que sans une loupe il aurait été impossible de les voir. Tous étaient activement occupés à s'enfermer dans leur enveloppe métallique, comme la chenille s'enveloppe dans un cocon. Pour le spectateur, ce travail semblait s'opérer d'une façon systématique. Ce mode d'opération est le suivant.

« Le petit être, à l'aide d'un réseau de filaments noirs et fins, dessinait la forme extérieure du grain; la charpente de l'édifice était faite avec un vide au centre, et l'extérieur était en tout semblable à l'intérieur, quoique six ou huit fois plus grand. Du centre, où il était placé, il groupait autour de ces filaments des rayons d'une couleur brune, s'enfermant, se murant avec une volonté prodigieuse, jusqu'à ce que son œuvre eût pris l'apparence des œufs de grenouille, sauf la couleur qui était brune.

« Si l'on met dans sa main avec un peu d'eau ce globule avant qu'il soit entièrement achevé, on voit travailler le petit être; mais si l'on fait couler l'eau doucement, tout s'écroule en une masse plate, dans laquelle de faibles mouvements sont visibles pendant quelques instants encore, puis tout

s'arrête bientôt et pour toujours. Ces masses plates expliquent la formation du *monery-ocre*.

« On doit remarquer que ces petits êtres ne font pas de globules de la même grosseur, mais que les dimensions du globule sont toujours proportionnées aux dimensions de l'animal qui doit y habiter. . . . .

« En groupant toutes ces observations, l'auteur du travail qui nous occupe, pense que le minerai du lac est produit par des infusoires qui vivent dans les cours d'eau, que ces infusoires choisissent pour parfaire leurs travaux et des eaux et des fonds à leur convenance; enfin, que les eaux calmes, sans courant, leur sont indispensables; car on ne trouve jamais de minerai au milieu du courant des rivières, ni à l'endroit où les rivières font un coude. . .

« Le minerai de lac ne se rencontrant que sur certains points, sur les fonds de sable ou d'argile, et n'étant pas répandu partout uniformément, on peut en conclure qu'il est dû à une cause organique; car si c'était un précipité ou un sédiment, il serait distribué uniformément sur tout le fond du lac; s'il était dû, au contraire, à l'action des eaux sur certains terrains, on le trouverait, dans le

même lac, partout où se rencontre ce terrain, ce qui est contraire à l'expérience.

« Le minerai existe sur certains points, toujours les mêmes, en bancs réguliers. En l'examinant avec soin, on aperçoit l'animal dans chaque grain à l'état pétrifié, mais bien reconnaissable encore à sa forme et à sa couleur; et il est probable que la petite quantité d'acide phosphorique que décèle l'analyse, est due à l'existence de ces êtres qui, après avoir accompli leur tâche au fond des lacs, s'enveloppent dans le métal pour mourir en repos. »

Si l'on demande maintenant d'où provient le fer employé par ces merveilleux architectes pour construire leurs retraites, nous répondrons que cette origine ne saurait être douteuse, que le fer existe dans les eaux à l'état de sel soluble, ou bien que ces eaux l'empruntent au fur et à mesure aux terrains environnants.

Le minerai du lac se reproduit assez vite. Dans certains lacs d'où l'on avait extrait, vingt-six ans auparavant, toute la récolte métallurgique, on retrouve, après cet intervalle, une nouvelle moisson presque aussi abondante.

Voici comment on procède, en Suède, à l'extraction du minerai ferrugineux. C'est assurément

pour la première fois que nos lecteurs entendront parler d'une pêche dans laquelle le pêcheur est un mineur et le poisson est un minerai.

La *pêche* se fait à la fin de l'automne, lorsque l'eau des lacs est couverte d'une glace déjà épaisse de 7 à 8 centimètres. On perce de petits trous dans la glace, dans le point où il existe des bas-fonds ; par ces trous, on glisse une longue perche, et, soit par le bruit particulier du minerai heurté au fond de l'eau, soit par l'examen des débris ramenés au jour, on reconnaît l'existence du dépôt ferrugineux.

Le pêcheur ayant reconnu ainsi un gisement, en marque les limites au moyen de brindilles fichées dans la glace, et l'espace qu'il a circonscrit de cette manière deviendra son domaine, propriété légale sur laquelle nul autre ne pourra venir poursuivre des recherches jusqu'à la fin de l'hiver.

Quelques mois après, la glace étant devenue assez forte, le pêcheur y creuse un trou d'un mètre de diamètre qui lui permet, à l'aide d'une longue perche, d'enfoncer jusqu'au fond du lac un crible puis un râteau large de 60 centimètres. A l'aide du râteau, il rassemble le minerai en tas au fond du lac ; puis, prenant un râteau plus petit, il charge

son crible, qu'il retire plein de minerai mêlé de sable et d'argile. Tous ces détritus sont ensuite soumis à la lexiviation ; en les agitant sur un crible placé dans l'eau, on sépare le sable et la vase, et l'on retient sur le crible le minerai ; après cela il ne reste plus qu'à aller vendre au fourneau le plus proche le produit de cette singulière pêche.

Selon son degré d'habileté, un homme peut rassembler une demi-tonne par jour. Aussi ce travail peut-il devenir assez lucratif. Les habitants de la province de Smaland exercent de bonne heure leurs enfants à cette pêche, dant le succès dépend de l'adresse de l'ouvrier.

Les usines de Suède et même de Prusse tiennent aujourd'hui en grande estime le minerai du lac en question et en font une importante consommation.

M. Sjogreen est d'avis qu'il ne serait pas impossible d'acclimater, dans d'autres contrées que la Suède, les insectes producteurs de ce curieux minerai. Mais, pour cela, il faudrait commencer par trouver des eaux naturellement chargées de sel de fer en dissolution et fournissant la matière ferrugineuse sur laquelle doivent opérer ces étonnants architectes. On ne saurait, en effet, admet-

tre que les infusoires dont ils s'agit, forment eux-mêmes le fer de toutes pièces. Il est évident, comme nous l'avons dit plus haut, qu'ils empruntent le fer donné aux eaux des rivières et des lacs, ou bien aux terrains qui avoisinent ces eaux, de la même manière que les mollusques empruntent le carbonate de chaux de leurs coquilles à la chaux dissoute dans les eaux de la mer.

Comme les écrevisses, transportées d'un sol calcaire sur un sol granitique, ne peuvent réparer ou former leur lest et finissent par périr, de même les insectes métallurgistes de Suède ne pourraient vivre et ourdir leurs merveilleuses trames métalliques que dans les lieux où la nature aurait préalablement réuni une source plus ou moins abondante de sels ferrugineux.

Les récentes expériences faites à Shoeburyness sur le canon Witworth,

Par M. de Bourson.

Le 25 septembre, la Commission scientifique d'artillerie anglaise a continué ses expériences à Shoeburyness sur les canons de M. Whitworth.

Nous avons déjà exposé à nos lecteurs comment, dans une expérience récente, des pièces d'artille-

rie du modèle de cet inventeur, de 12 et de 74, avaient, avec une charge de poudre relativement peu considérable, pénétré des cuirasses de navire de 4 pouces d'épaisseur (0,10 centimètres). On avait été étonné de ces résultats auxquels on ne s'attendait nullement. Cependant, les trous faits aux plaques n'avaient point été assez considérables pour satisfaire les désirs de la Commission, précieux aveu que nous recueillons avec soin dans le rapport de ce jour; car, à la suite de la précédente expérience, les journaux anglais avaient présenté le résultat comme absolu.

La Commission donc voulut expérimenter l'effet de cette artillerie, en employant les pièces d'un calibre plus fort, en augmentant la distance qui n'était que 200 yards (182 mètres 96 centimètres), et en soumettant à l'épreuve des plaques absolument semblables à celles qui garnissent les flancs du *Warrior*. Comme les canons Whitworth avaient été depuis un certain temps regardés comme incapables d'obtenir un pareil résultat, et qu'ils s'étaient relevés de cette proscription au dernier tir, on avait convoqué, pour juger de leur effet, lord Clyde, sir W. Armstrong, les membres de la Commission, une réunion nombreuse d'officiers d'artillerie et d'officiers de marine, et naturellement M. Witworth lui-même.

La pièce employée à cette occasion a été le canon

que les Anglais considèrent comme le plus formidable engin de destruction contre les cuirasses de navires qu'on ait encore trouvé : c'est une pièce se chargeant par la gueule, construite à Woolwich d'après le système de bandes d'acier de sir Armstrong, mais forée d'après le système hexagonal de M. Whitworth. Elle pèse 7 tonnes (711,228 décagrammes), sa longueur est de 12 pieds (365 centimètres), son calibre de 120 (36,56 centimètres), quoiqu'elle soit capable de lancer sans aucun danger un boulet d'un poids double.

Cette pièce a été établie sur une plate-forme à une distance de 600 mètres d'une cible formée d'un morceau de blindage pareil à celui du *Warrior*; cette distance constituait 400 mètres de plus que celle qui est usitée jusquici à Shœburyness dans les expériences analogues contre des masses d'acier et de bois aussi considérables.

On avait établi auprès de la pièce de Whitworth, à une distance de 800 mètres, l'énorme pièce pesant 24 tonnes (2,438,496 décagrammes), dite *canon Horsfall*, et avec laquelle on avait dernièrement, à 200 mètres, percé profondément des plaques cuirassées. On prétendait que l'effet serait le même à 800 mètres, mais ce canon, qui a été tiré après le canon Whitworth, n'a donné à cette grande distance que des résultats négatifs. Le canon Horsfall est un canon conçu d'après le système rayé.

La plaque était une plaque neuve de 21 pieds (6 mètres 398 millimètres) de long sur 5 (1 mètre 524 millimètres) de hauteur, avec un revêtement d'acier de 4 pouces et demi (114 dixmillimètres) d'épaisseur sur 18 pouces (457 millimètres) de bois de teck en bandes placées transversalement, et un contrefort intérieur de cinq huitièmes de pouces (16 millimètres) supporté par des arêtes d'acier massif placées à des intervalles de 18 pouces (457 millimètres).

Le premier coup a été tiré avec une charge de 28 livres (12,700 grammes 593 milligrammes) de poudre et un boulet hexagonal de 129 (58,556 grammes 454 milligrammes). Le coup frappa juste au centre de la plaque, et, à ce choc formidable, il s'échappa de l'acier un jet de flamme presque aussi puissant que celui qui était sorti de la bouche du canon. Le coup pénétra dans la plaque, traversa l'acier, le bois, le revêtement intérieur, et rencontra une des nervures inférieures dans laquelle il entra à moitié, faisant sauter de toutes parts les vis et les boulons, mais il ne traversa pas l'armure. La pénétration ne fut pas isolée pourtant, mais elle fit éclater de toutes parts le revêtement et y causa des fissures, telles qu'elles auraient déterminé une voie d'eau des plus graves. A ce point de vue, l'expérience paraît décisive. A travers un vaisseau en bois, un pareil projectile aurait passé de part en

part, faisant un trou net et sans dommage grave, mais la résistance de l'acier a déterminé une fracture qui, dans les œuvres vives, eût été irréparable. Le projectile resta engagé dans le trou avec sa pointe appuyée contre la nervure intérieure à demi brisée, mais non traversée.

La seconde expérience a été faite avec un boulet explosible chargé de près de 4 livres de poudre (1,810 grammes) ; son poids total était de 131 livres (594,085 grammes), et il a été lancé avec une charge de 25 livres (73,375 grammes). Le coup précédent avec un boulet plein était attendu, mais le résultat de celui-ci dépassa toutes les espérances. L'obus passa à travers toutes les enveloppes, éclatant probablement quand il rencontra l'enveloppe intérieure, qu'il détacha par l'explosion, mettant le feu au bois et lançant des morceaux nombreux qui auraient été frapper l'équipage du navire. La distance était de 660 mètres. L'effet fut terrible en ce sens que non-seulement la plaque fut traversée, mais l'armure intérieure projetée par le choc forma sous cette impulsion un second boulet du poids de 30 livres (129,750 grammes) qui, dans un combat, aurait été ravager l'intérieur du navire.

On ne poussa pas plus loin l'expérience, et l'on se mit à tirer avec le canon Horsfall, ce qui mit en évidence la supériorité des canons à âme lisse sur les canons rayés, pour percer les cuirasses. Les

projectiles ne purent traverser complètem
armures.

Avant de porter un jugement sur ces expé
il convient de faire remarquer : 1° que les
des cuirasses dont on a fait usage n'étai
aussi solides que les plaques réelles du W
2° que tirer une conclusion générale de l'e
duit par un seul coup, est une hypothèse h
die en artillerie et, en fait, il n'a été tiré
boulet plein et un boulet creux. Les défaut
chés aux pièces anglaises ont été justemen
qu'à présent, de ne pas supporter un tir pr
et d'être plutôt des instruments de précisi
des armes de combat. Il importe donc d'a
de plus grands détails, des expériences plu
plètes et l'essai de ces canons hors du po
pour pouvoir se prononcer ; car on n'igno
non plus que tel canon qui se comporte a
blement bien sur le terrain de tir, offre, en
ment de navire ou de forteresse, des défaut
lérables. Ces épreuves manquent encore.

Sceaux, imprimerie de E. Dépée.

Pl. V.

JOURNAL DES ARMES SPECIALES.

ARMES DE JET

ET COMPOSITIONS EXPLOSIVES,

COMPRENANT QUELQUES NOUVELLES RESSOURCES DE GUERRE AVEC DES RENSEIGNEMENTS SPÉCIAUX SUR L'ARTILLERIE RAYÉE, DANS SES PRINCIPALES VARIÉTÉS,

Par **J. SCOFFERN**, ex-professeur de chimie au collége de médecine d'Aldersgate, 4ᵉ édition; traduite de l'anglais par **F. J. A. MARTENET**, chef d'escadron d'artillerie.

(Voir le nº de janvier 1863, page 82.)

PRINCIPE DU CHARGEMENT PAR LA CULASSE.

Le principe du chargement par la culasse, dans quelques-unes de ses nombreuses variétés, a été inspiré principalement par deux considérations, savoir : les difficultés inhérentes au forcement de la balle dans les carabines, par la méthode ordinaire, et le désir d'obtenir un feu plus vif.

Si on prend la peine d'examiner les conditions mécaniques du problème, on verra qu'avant l'adoption du système à percussion l'application des procédés de chargement par la culasse étaient beau-

coup plus difficiles qu'à présent. Néanmoins des tentatives durent être faites peu de temps après l'invention des armes à feu. On peut encore voir, à la tour de Londres, dans la collection des revolvers établis sur le principe du chargement par la culasse, une arme à feu se chargeant par la culasse qui appartenait à Henry VIII.

La place me manque pour présenter l'histoire des armes se chargeant par la culasse. Je dois me borner à décrire celles qui ont réussi, dans une certaine mesure du moins.

Variétés de ce principe. — On peut distinguer quatre variétés de systèmes de chargement par la culasse, dans les armes portatives modernes :

1° Le système à coulisse;

2° Le système à charnière;

3° Le système à vis et à trappe;

4° Le système revolver.

1° *Le système à coulisse.* — Nous trouvons deux spécimens remarquables de ce système dans le fusil prussien à aiguille et le mousqueton de cavalerie du colonel Greene. On attendait beaucoup de cette dernière arme. Un certain nombre de mousquetons Greene avaient été mis entre les mains de la cava-

lerie anglaise, mais on les a reconnus défectueux. La particularité qu'offre le fusil prussien à aiguille, sous le rapport du chargement, consiste à ramener en arrière un cylindre à coulisse qui découvre l'ouverture postérieure du canon et permet d'y introduire une cartouche; le cylindre mobile est alors ramené à sa place et arrêté par une poignée et un cran d'arrêt. La pièce à coulisse en question est percée d'un petit trou juste assez grand pour recevoir la broche pointue en fer qu'on appelle l'aiguille, laquelle, lorsqu'on lâche la détente, est chassée en avant, traverse la poudre et vient percer une grosse capsule logée à la base d'une balle cylindro-ogivale; cette capsule faisant explosion met le feu à la poudre qui la précède.

Les défauts du fusil prussien à aiguille sont les suivants : 1° Les cartouches renfermant la substance fulminante, on peut mettre le feu à un approvisionnement avec une seule balle de fusil tirée dans la masse ; 2° l'arme, dans la plupart de ses variétés, n'a pas de cran de repos, et une simple piqûre, même sans choc, met le feu à la cartouche ; 3° la difficulté de l'ouvrir et de le charger dès qu'il est un peu sale ; 4° fuites à la culasse après un long service.

La plus grande difficulté peut-être contre laquelle les constructeurs d'armes à canons longs aient eu à lutter, en cherchant un bon chargement par la culasse, c'est d'empêcher les fuites de gaz. Avec les charges du pistolet et du mousqueton, la difficulté en question n'a pas été grande. La pierre de touche du système, c'est son application aux armes à feu de l'infanterie.

2° *Le système à charnière.* C'est d'après ce système qu'est construite la carabine américaine de Sharp, destinée aussi à employer une cartouche ordinaire, dont la partie postérieure est retranchée par le mouvement de fermeture de la charnière. Les défauts de cette arme sont : la facilité avec laquelle elle se salit à la charnière et l'incertitude de la mesure dans laquelle la cartouche est coupée par l'action du chargement.

En admettant qu'on pût se servir d'une cartouche spéciale et d'un prix un peu élevé, il n'y aurait pas la moindre difficulté à appliquer aux carabines le système du chargement par la culasse, mais avec l'adoption de l'un ou de l'autre des systèmes à expansion, c'est à peine nécessaire.

Cependant, dans les fusils de chasse, le système

a été appliqué avec un plein succès. En France et en Belgique, des fusils de chasse ont servi pendant plusieurs années, en employant une cartouche, comme celle représentée (fig. 33) ; elle consiste en un tube en papier ayant un bout en bronze ou en cuivre, dans lequel une capsule ordinaire à percussion est disposée de façon qu'étant frappée par une tige de métal mise en jeu par le chien, elle détermine l'explosion.

Cette forme de cartouche a ses inconvénients. Les percuteurs étant en saillie sur la cartouche, celle-ci est exposée à faire explosion accidentellement, et il n'est pas toujours facile de retirer la cartouche vide, après le tir.

M. Lancaster, dans la construction de son fusil de chasse se chargeant par la culasse, a remédié à ces défauts. Ses cartouches sont dépourvues de tout appareil extérieur d'ignition ; la matière fulminante est logée dans une cavité, dans l'intérieur de la cartouche, de telle sorte qu'aucun choc à la surface ne peut mettre le feu à la charge, ni autre chose que le moyen employé qui est la percussion au centre. Je n'ai jamais vu une de ces cartouches rater dans le tir, et je n'en ai jamais vu non plus faire explosion dans les épreuves de sûreté les plus sévères.

3° *Le système à vis et à trappe*. On peut voir ce système fréquemment appliqué dans les anciennes carabines, même avant l'adoption du principe à percussion. Quelques-uns des mécanismes fondés sur ce système sont assez satisfaisants pour les fusils de chasse, entre les mains de personnes soigneuses ; mais aucun ne convient pour la construction des armes de guerre.

4° *Le système revolver*. Ce n'est pas un grand exploit mécanique que de réunir plusieurs canons entiers autour d'un axe central et de les amener successivement avec la main sous l'action d'un seul chien. Aussi, y a-t-il longtemps que des pistolets et des mousquetons ont été établis d'après ce système. Ensuite vinrent les inventions pour faire tourner l'ensemble des canons en mettant l'arme au bandé; et dans quelques pistolets, pour dispenser d'armer, de tourner les canons et de mettre le feu, en faisant exécuter toutes ces opérations par l'action de la détente même.

Mais d'abord, aucune arme à feu portative ne peut admettre plusieurs canons entiers tournant successivement pour venir se placer sous l'action du chien; elle devient trop lourde et d'un maniement trop dif-

ficile. Avant donc que les pistolets revolvers pussent devenir des armes de guerre efficaces, il y avait nécessité d'arranger les choses de telle sorte que la culasse fût seule à âme multiple et tournât seule, chaque portion de canon de la culasse venant se mettre de lui-même, au moment de faire feu, exactement en correspondance avec le canon principal, et si parfaitement, qu'aucune fuite de gaz ne pût se produire dans la pratique. Arrivé à cela, on se demanda alors, non si on devait tourner la culasse à la main, mais s'il était besoin d'armer à la main, ou si on devait faire feu et faire tourner la culasse par la seule action de la détente. Chaque système a ses avantages et ses inconvénients. Avec les pistolets du système qui s'arme avec la main, dont le pistolet Colt fut le plus parfait spécimen connu, le jeu de la détente est facile et on peut parfaitement ajuster; mais le pistolet d'Adam, dans lequel le jeu de la détente non-seulement fait tourner la culasse, mais partir les coups, satisfaisait mieux aux exigences d'un tir rapproché.

Quelque doute qui ait pu exister sur les mérites relatifs des pistolets de Colt et d'Adam, il est maintenant résolu en faveur du dernier, depuis les récents perfectionnements qui ont été apportés à cette

arme. Il peut servir comme le pistolet Colt pour un tir de précision ou par le jeu continu de la détente pour un tir rapproché. Il semble réaliser le dernier degré de perfection dont un pistolet revolver soit susceptible, et ne plus rien laisser à désirer en fait d'amélioration.

Je doute que le système revolver puisse être efficacement appliqué aux fusils d'infanterie et même aux mousquetons. Si on fait ceux-ci assez résistants pour supporter une charge plus forte que celle des pistolets, l'arme devient trop lourde. Quant aux pistolets revolvers, je sais que des expériences récentes faites dans l'armée ont démontré que le petit revolver ou revolver de poche d'Adam est le meilleur. Porté dans la poche et non dans les fontes, il peut servir à son propriétaire, lorsque celui-ci est démonté. C'est une considération importante.

DES ESPÈCES DE POUDRES QU'IL CONVIENT D'EMPLOYER DANS LE TIR DES CARABINES.

C'est une opinion très-commune, mais très-erronée, que la poudre greuée très-fin est nécessai-

rement la plus forte. Rien n'est plus loin de la vérité en ce qui regarde le tir des armes portatives. Pour trancher cette question, examinons le cas extrême de la poudre à l'état de farine, c'est-à-dire réduite en poudre impalpable. Si, avec de la poudre dans cette condition, on charge un fusil, qu'on la bourre bien et qu'on y mette le feu, elle ne fera pas explosion instantanément, mais brûlera successivement avec une certaine lenteur, à la manière d'une fusée. Effectivement, la principale condition pour obtenir une déflagration rapide, c'est la présence d'une certaine quantité d'air atmosphérique au milieu de la charge de poudre et entre les grains. Naturellement, il y a un milieu à garder en cela. Les grains peuvent être si gros qu'ils seront en partie projetés sans être brûlés, et, d'un autre côté, ils peuvent être si petits, si rapprochés les uns des autres, que leur ignition sera trop lente pour la production de la force de projection nécessaire. Pour les fusils de chasse à pierre, la poudre à petits grains est la meilleure, mais assurément il n'en est pas de même pour les armes portatives à percussion, soit lisses, soit rayées.

En Amérique, Rodman a suggéré l'emploi des composants de la poudre à l'état de bloc ou de

masse obtenue par compression et perforée; et cette espèce de munition y a été employée dans ces derniers temps avec beaucoup d'extension dans les opérations de l'artillerie. En Angleterre, le capitaine Brown aglutine en bloc la poudre déjà grenée, mais sans perforation. Sous l'inspiration de M. Whitworth et de sir William Armstrong, la poudre à canon anglaise a été fabriquée en grains gros comme des fèves. C'était dans le but de diminuer l'effort initial sur le canon. Généralement parlant, on peut poser ce principe, que plus le canon d'une arme à feu est long, plus la poudre doit être grenée grosse.

SUBSTANCES PROPOSÉES POUR REMPLACER LA POUDRE DANS LE CHARGEMENT DES ARMES A FEU.

Quoiqu'on n'ait encore découvert aucune composition de tous points propre à remplacer la poudre à canon, différentes matières ont été essayées dans un but de curiosité. Ainsi, dans les boutiques d'armurier en France et en Belgique et quelquefois en Angleterre, nous voyons des pistolets et de petites carabines destinés à chasser leur balle par la seule

puissance explosive d'une très-grosse capsule, convenablement fixée à la balle ou cône, et comme cette dernière est introduite par la culasse, l'arme se charge avec beaucoup de rapidité.

Lorsque le calibre de l'arme à feu est très-petit, comme par exemple pour une carabine à pois ou un pistolet de poche, l'invention en question est très-satisfaisante, et comme l'explosion a lieu sans fumée et de plus ne laisse aucun résidu, les armes à feu de ce système sont très-convenables pour s'exercer dans les appartements. Mais, envisagé au point de vue du tir des carabines et des pistolets de plus gros calibre, le procédé qui vient d'être décrit est tout à fait inefficace ou sinon devient d'une pratique extrêmement dangereuse.

La subsance appelée coton à canon (coton-poudre), immédiatement après sa découverte, fut considérée comme capable de remplacer la poudre, comme agent de propulsion; mais des expériences répétées ont démontré ce que toute personne familière avec les lois du tir des projectiles à feu aurait pu prévoir, savoir, la complète insuffisance aussi bien que le danger du coton-poudre.

De plus, quand bien même cette substance pourrait être employée avec sécurité et aurait une

puissance suffisante, il lui manquerait toujours la qualité essentielle pour être d'un bon service, celle de n'exercer aucune action nuisible sur le canon. Le coton poudre, c'est vrai, ne produit pas de fumée, et, par conséquent, aux yeux d'une personne étrangère à la chimie, il pourrait faire naître l'idée qu'il ne détériore pas le canon ; mais il donne naissance à des vapeurs nitreuses et à de l'acide nitrique, deux substances essentiellement destructives du fer.

Je ne sais pas si quelqu'un a été assez osé pour essayer le coton-poudre dans un canon, mais ses effets ont été suffisamment étudiés dans les armes portatives de divers calibres, et les expériences ont conduit à son complet abandon. On a essayé aussi de s'en servir pour la fabrication des fusées de guerre, largement mélangé avec du coton ordinaire, mais un accident épouvantable qui survint pendant qu'on chargeait un de ces projectiles, fit renoncer à cette matière. On l'a encore essayé pour l'explosion des mines, cas où il présentait le grand avantage de ne pas obscurcir de fumée les galeries et passages de la mine.

Mais je crois que, même dans cette sphère limitée d'application, on a trouvé le coton à canon trop

dangereux pour s'en servir d'une manière suivie, et, autant que je sache, il a été entièrement abandonné (1).

Récemment, M. Augendre a proposé la composition suivante pour remplacer la poudre, mais je ne sais pas quels résultats elle a donnés :

Ferro-cyanure de potassium. .	25
Chlorate de potasse.	23
Sucre	49
	100

Suivant M. Pohl, la composition suivante est un perfectionnement de la précédente :

(1) Du coton-poudre d'une fabrication particulière, différent de la substance découverte par Schonbein, est, dit-on, employé en Autriche par l'artillerie, dans quelques cas spéciaux. Toute espèce de matière ligneuse peut devenir explosive comme le coton par son immersion dans de l'acide nitrique concentré, ou mieux encore, dans un mélange d'acide sulfurique et d'acide nitrique, l'amidon même peut être substitué au ligneux. Ainsi dans bien des circonstances, le papier a été rendu explosif, et on a espéré beaucoup que ce papier pourrait servir avantageusement à charger les cartouches ; mais ces espérances n'ont pas été réalisées. Toutes les matières de l'espèce du coton-poudre tendent à faire explosion, par le développement naturel et subit de la force qui leur est inhérente, mais si l'explosion est impossible, la force se résout d'elle-même par une décomposition, ou, en d'autres termes, la matière devient inerte.

Ferro-cyanure de potassium. .	28
Chlorate de potasse.	46
Sucre	24
	100

DE LA CONSTRUCTION DES CANONS RAYÉS.

Connaissant déjà le principe sur lequel est basée la construction des armes portatives rayées et les difficultés mécaniques inséparables de leur chargement, on comprendra facilement qu'on doit rencontrer encore de plus grands obstacles en appliquant le principe des rayures aux canons.

En premier lieu, nous avons vu qu'avant la découverte de la carabine à âme ovale et lisse (1), il fallait presque de nécessité qu'un projectile de carabine fût en plomb ou en un autre métal tendre, et on reconnaîtra tout de suite que des projectiles en plomb pour canons (boulets sphériques ou oblongs) seraient impropres à toutes les opérations du tir contre des murailles qu'on veut renverser.

(1) Outre l'âme ovale, plusieurs moyens ont été trouvés pour éviter l'emploi d'un projectile en plomb ou recouvert de plomb, entre autres : l'âme hexagonale de M. Whitworth qui n'est, si l'on veut, qu'une modification de l'âme ovale, et le système à tétons ou ailettes entrant dans les rayures, et guidant le projectile suivant leur courbure.

Mais, pour contrebalancer ces objections, les projectiles en plomb offrent l'avantage qu'étant plus lourds que ceux en fer, ils auraient une plus grande portée pour un calibre égal de canon, et, par suite, seraient d'un effet supérieur contre les vaisseaux et les troupes. On peut, par conséquent, affirmer en toute assurance que la nécessité seule de faire des boulets en plomb n'aurait pas empêché l'usage des canons rayés, dans quelques circonstances exceptionnelles, si d'autres difficultés ne s'y fussent opposées.

La plus grande de toutes les difficultés consiste certainement dans le chargement de ces canons. Le forcement de la balle dans une arme à feu portative rayée, exige déjà une dépense de force mécanique considérable. Combien une semblable opération ne doit-elle pas présenter plus de difficultés encore dans un canon rayé? Si donc on suppose qu'on soit résolu à l'emploi des canons rayés, il semblerait qu'il n'y a pas d'autres ressources offertes à l'inventeur pour résoudre la question, que le principe du chargement par la culasse ou celui de l'expansion. Dans ce pays, MM. Whitworth et sir William Armstrong ont beaucoup travaillé au chargement par la culasse; *ils ont échoué tous deux*,

même pour l'artillerie de campagne, cela n'est pas douteux. Je crois peu qu'on réussisse à fabriquer avec un plein succès, une artillerie se chargeant par la culasse.

Nous voilà donc amenés à adopter le principe du chargement par la bouche, qui, jusqu'à la découverte par Minié de sa balle expansive et jusqu'à l'ingénieuse idée de M. Lancaster, d'employer une âme elliptique, pouvait être regardé comme désespéré. On voit que l'adoption du principe d'expansion est limitée à l'emploi d'un projectile en plomb ou en métal composé; tandis qu'il ne semble pas difficile d'admettre la possibilité de se servir de projectiles en fonte ou en fer forgé avec des canons à âme ovale du système Lancaster. Si jamais le problème de la construction d'une artillerie rayée fonctionnant d'une manière satisfaisante peut être résolu, il me semble que ce doit être par l'adoption du système à âme ovale de Lancaster. Ce système seul est approprié à la projection d'un mobile entièrement en fer; et les tentatives réitérées de tous ceux qui ont essayé des projectiles en métal composé, — partie plomb et partie fer, — ont échoué. M. Bashley Britten a récemment inventé une artillerie rayée et des projectiles d'après ce

dernier système, mais le résultat n'a pas été favorable. Cinquante pour cent de ses projectiles volaient en éclats au sortir du canon, et un bien plus grand nombre encore étaient tellement détériorés par les cahots du caisson à munition, qu'ils ne pouvaient plus être introduits dans le canon, et cela, malgré le soin qu'on avait pris de les emballer dans de la sciure de bois.

Mais le canon rayé, quoique perfectionné, sera toujours une arme exceptionnelle. Une balle d'arme portative, lorsqu'elle a été droit au but et l'a atteint, a fait tout ce qu'on pouvait attendre d'elle; il n'en est pas de même d'un projectile tiré par un canon, ou pour parler plus exactement, il n'en est pas de même pour un certain tir que l'artillerie est destinée à employer. J'ai déjà expliqué le but du tir à ricochet, eh bien! la pratique du ricochet ne peut pas être très-satisfaisante avec les projectiles tirés par les canons rayés. Ils ricocheront en effet, mais à cause de leur mouvement de rotation autour de leur axe, sur la trajectoire, ils ne toucheront pas plutôt le sol qu'ils commenceront à dévier, et alors leur marche sera si irrégulière, qu'elle défiera tout calcul. De plus, le tir à rotation avec des grappes ou des boîtes à mitraille serait une absur-

dité; avec des shrapnells c'en serait encore une plus grande (1).

Je sais que certains journaux partisans du canon rayé nient la plus grande partie de ces faits et soutiennent que la grappe, la boîte à mitraille et le shrapnell peuvent être tirés avec quelque efficacité dans les canons rayés. Oui, mais comment? en faisant bon marché du principe de rotation; en se servant de projectiles plus petits que le canon, si bien que les rayures ne peuvent faire leur effet. Cela n'est pas faire autre chose que de transformer une pièce d'artillerie rayée en un mauvais canon ordinaire. A mon point de vue, la vraie application de l'artillerie rayée, lorsqu'elle sera perfectionnée (et elle le sera assurément), devrait consister à profiter de la polarité de ses projectiles pour appliquer le principe de la percussion à des obus et inaugurer une sorte de système Jacob (2) sur une large

(1) Ces réflexions ont été écrites en 1858, et elles sont encore en grande partie vraies, quoique l'obus segmentaire soit considéré comme aussi efficace que les shrapnells.

(2) Le colonel Jacob, du service de Bombay, aujourd'hui général, qui emploie des balles percutantes avec des armes portatives rayées. En effet, il a développé l'usage des projectiles creux dans ces petites armes, dans une telle mesure, qu'ils seront assurément plus ou moins employés dans les

échelle. Alors, employée comme arme exceptionnelle, elle serait en effet terrible; mais il est difficile de dire comment, en en supposant la construction aussi facile qu'on voudra, elle pourrait remplacer les canons ordinaires.

Le canon rayé, je ne le mets pas en doute, peut bien être utilisé dans certaines conditions spéciales. Nos ouvrages défensifs sur les côtes, par exemple, peuvent être armés avec des canons de ce modèle dont les projectiles peuvent agir efficacement contre des flottes ennemies à des distances et avec un degré de justesse bien au-dessus de ce que nous connaissons jusqu'à présent. Par ce moyen, il est possible peut-être de couler des vaisseaux longtemps avant qu'ils n'aient pu vous riposter par un coup efficace (1).

guerres futures. Ils sont principalement utiles pour faire sauter les caissons à munitions.

(1) Il est à peine besoin de dire que quand ces observations ont été écrites, on n'avait pas encore construit de vaisseaux cuirassés; relativement à ces derniers, les expériences faites à Shoeburyness ont conduit aux résultats suivants :

1° Les projectiles allongés à rotation, quel que fut leur poids, ont fait moins d'effet sur les cibles en fer figurant les cuirasses des vaisseaux, que les boulets sphériques depuis 68 livres.

2° Les plus gros projectiles essayés contre ces plaques,

MORTIERS MONSTRES.

L'expérience a prouvé que l'artillerie en métal fondu, soit en bronze, soit en fer, peut difficilement dépasser les calibres de 10 pouces pour les canons longs, et de 13 pouces pour les mortiers (1). Avant le siége d'Anvers, les Français, comme on le sait, construisirent un mortier d'un calibre beaucoup plus fort que 13 pouces; mais il éclata après un petit nombre de coups. Si donc on construit avec succès des pièces d'artillerie considérablement plus fortes que celles ordinairement employées, elle devront être le résultat de quelques procédés particuliers de construction. Il semble qu'il sera nécessaire de les faire en fer forgé, ou soudé en une seule masse, ou composé d'un grand nombre de barres cerclées ensemble, à la manière de l'ancienne artillerie, ou enfin de cercles seulement.

Plusieurs tentatives ont été faites pour construire de grosses pièces d'artillerie en fer forgé, mais

même les boulets sphériques de 150 livres, n'ont pas réussi à les percer à des distances plus grandes que 200 yards.

(1) C'est-à-dire si on les tire à pleine charge actuelle.

jusqu'ici avec un succès médiocre. Je n'excepterai pas même le canon monstre présenté au gouvernement par la Compagnie des forges de Mersey. Il n'a jamais été tiré à pleine charge, et, à la lumière, le fer s'use si rapidement, que le canon exige un *grain* après chaque série de neuf coups. Il n'y a guère de comparaison à établir entre la ténacité des grosses masses de fer soudées et celle des petites. Dans les premières, un certain état de cristallisation est sujet à intervenir qui rend la masse telle, qu'on peut moins compter sur elle que sur une masse de fonte d'égale grosseur. La construction de la grosse artillerie semble réclamer un métal composé réunissant la dureté de la fonte et la ténacité du métal forgé. Une proposition américaine, celle de M. Daniel Treadwel (1), semblerait pro-

(1) Une mûre expérience a démontré la difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité de forger les pièces de gros calibres d'une seule masse. Toutes celles en fer forgé fabriquées avec succès, j'entends avec succès quant à la résistance du métal, ont été faites sur le principe de Treadwell. Le mérite d'avoir réalisé ce principe en Europe pour la première fois, appartient au capitaine Blakely. Ayant pris la peine d'examiner les diverses prétentions à la priorité à cet égard, c'est avec confiance que j'affirme ce que je viens de dire. Treadwell fit plusieurs canons, sur le principe de la tension, en 1844. En Angleterre, Blakely prit un brevet pour ce principe en février

mettre une solution de la difficulté. Il propose de couler une âme intérieure ou coquille, et de la recouvrir de rubans en fer forgé, disposés en spirales concentriques et alternatives. Ces rubans devront être appliqués à chaud; de sorte qu'en se refroidissant, ils se contracteront, et, de cette manière, contribueront à la solidité. Quant aux pièces de campagne, je crois que, dans un temps peu éloigné, mon pays est destiné à voir s'y introduire un métal de beaucoup supérieur au bronze ordinaire et même au fer, je veux dire le bronze d'aluminium.

Système Mallet. Le mortier monstre récemment construit par M. Mallet, et fait d'anneaux composés séparés, peut être considéré comme un chef-d'œuvre de l'art des constructions. Ce mortier reçoit une bombe de 30 pouces de diamètre, contenant une charge d'éclatement de 480 livres, et ne pesant pas moins de 1 1/2 tonne lorsqu'elle est chargée.

Jusqu'à présent, 21 janvier 1858, la plus forte charge employée a été de 70 lbs. de poudre, quoique les journaux aient parlé par erreur de 150 lbs.

1855, Longridge, en mai 1855, Treadwell, en juin de la même année, et c'est dans ce même mois que le docteur Hart, de Trinity collége, à Dublin, publia ses calculs.

DÉTAILS DU MORTIER MONSTRE DE M. MALLET.

La volée consiste intérieurement en trois cylindres ou anneaux composés. — Le mortier étant complété par une chambre en fer ductile (forgée à Liverpool) et enchâssée dans une forte masse de fonte.

N° 1. Anneau (voisin de la culasse) est composé de sept anneaux, chacun de ces anneaux étant en trois anneaux emboîtés les uns dans les autres.

N° 2. Anneau s'adaptant sur le n° 1 (et appelé anneau du centre) est composé du même nombre de pièces que l'anneau n° 1.

N° 3. (Ou anneau supérieur) est composé de cinq anneaux, chacun de ces cinq anneaux étant en trois anneaux emboîtés les uns dans les autres.

Il y a deux anneaux mobiles agissant comme des espèces de clés sur les six boulons (ou douves) dont les extrémités supérieures s'appuyent sur l'anneau de la bombe, et les extrémités inférieures sont assujetties par des colliers d'acier dans la masse en fonte coulée autour de la pièce de culasse.

Le tout, sans l'affût, pèse 42 tonnes.

Poids de l'affût, 8 tonnes.

Poids moyen de la bombe, 24 quintaux.

Charge de l'obus vide, 480 lbs. de poudre.

Valeur de la bombe chargée, environ L. 25.

Par suite d'une erreur de fabrication, l'âme de ce mortier est légèrement ellyptique.

	Pouces.
Grand axe.	36,01
Petit axe.	35,99
Excentricité. . . .	0,02

	Pi. Po.
Longueur de la chambre. . . .	2, 6
Diamètre en haut.	0,18
Diamètre au fond.	0,14
Longueur du mortier depuis la naissance de la chambre. . .	8, 0

DÉTAILS DU CANON MONSTRE EN FER FORGÉ DES FORGES ET ACIÉRIES DE MERSEY.

Longueur. . . . 13 pi.
Calibre. . . . . 13 po.
Poids. . . . . . . 21 ton. 17 cwt.
Poids de l'affût. . 5 ton.
Pleine charge de poudre, 50 lbs.

La portée extrême de ce canon, chose assez étrange, avait lieu sous l'angle de 1°, le boulet ricochant seulement à la distance de 5,200 yards.

DÉTAILS DU MORTIER MONSTRE D'ANVERS.

	Pouces.
Longueur totale.	59
Diamètre extérieur.	39,5
Calibre.	24,5
Longueur de l'arme depuis le sommet de la chambre. . .	27
Profondeur de la chambre. . .	19
Diamètre de la chambre. . . .	9
	Lbs.
Poids.	14,700
Poids de l'affût.	16,000
Poids de la bombe vide. . .	916
Charge de la bombe. . . .	99

La chambre pouvait contenir 30 lbs.; mais on trouva que 12 lbs. environ suffisaient pour porter la bombe à 800 ou 900 yards.

Finalement, le mortier éclata avec une charge de 19,845 lbs. de poudre.

Tubes à friction. — Le système à percussion était une trop bonne chose pour n'être pas adopté pour le tir de l'artillerie; mais son adoption présenta de grandes difficultés. On ne pouvait pas se servir d'une grosse capsule analogue à celle des armes

portatives, et la frapper directement avec un marteau, comme avec ces armes, à cause de la force des gaz qui s'échappent par la lumière. Dans les armes portatives, le jet de poudre enflammée qui s'échappe par la cheminée est suffisant dans les platines faibles pour ramener le chien au demi-bandé ; avec les canons, le mécanisme de la platine était mis en pièce. Maintenant que les platines pour canons sont devenues inutiles par suite de l'emploi des tubes à friction, ce n'est pas la peine d'exposer les difficultés vaincues pour arriver à la construction des platines à percussion pour canons.

Le tube à friction (fig. 33) est une invention dont l'idée est empruntée à une allumette chimique autrefois en usage, qui ne s'allumait pas comme aujourd'hui les allumettes Congrève, simplement par une légère friction, mais exigeait qu'on la retirât vivement d'entre deux papiers de verre. Il n'y a pas de papier de verre sur la paroi du tube à friction, mais la matière est attachée à une lame de métal dont les côtés sont taillés en dents de scie, et qui est fixée à angle droit dans un tube qui s'adapte à la lumière. Le bout libre de la lame métallique dentelée est percé d'une ouverture pour recevoir

une corde, laquelle étant tirée vivement fait détonner le tube.

Pour le service de terre, toutes les parties du tube à friction sont en bronze; mais dans la marine, la portion de l'appareil à friction qui entre dans la lumière est en roseau simplement, parce que les tubes de métal brisés et déchirés répandus sur le pont, couperaient les pieds des marins, qui sont ordinairement sans chaussures pendant l'action, et les gêneraient pour le combat.

LA BAÏONNETTE.

Cette arme semble si clairement indiquée comme un complément du mousquet, elle est si simple en même temps, qu'on s'étonne au premier abord que l'application en ait été différée jusqu'à une époque comparativement récente. Mais il ne faut pas beaucoup de réflexion pour faire voir qu'avant que le poids des premières armes à feu portatives eût été considérablement diminué, la baïonnette, même sous sa forme perfectionnée d'aujourd'hui, eût été un appendice inutile. L'idée de la baïonnette est venue de l'usage où l'on était autrefois d'introduire la poignée d'une courte dague dans le canon du

mousquet, après l'avoir tiré, ce qui donnait le moyen de s'en servir comme d'une pique. Ces sortes de baïonnettes (1) ou de dagues furent introduites en France vers 1671, suivant le Père Daniel (2).

Le mode actuel de fixer la baïonnette fut une découverte tardive qui fut appliquée pour la première fois par le maréchal de Catinat, en 1693, à la bataille de Marsaglia, où le carnage fut immense. Malgré ce succès, ce ne fut qu'après qu'elles eurent contribué au gain de deux autres grandes batailles, savoir celle de Spire, en 1703, et celle de Calcinata, en 1705, que les baïonnettes furent adoptées par les autres nations. L'introduction de cette arme conduisit à l'abandon de la pique, qui fut abolie en France, par ordonnance royale, en 1703, sur l'avis du maréchal de Vauban. Je ne sais pas au juste à quelle époque les piques furent abandonnées en Angleterre; mais je crois que ce fut à peu près vers le même temps.

(1) Ainsi appelées, parce que, dans l'origine, elles furent fabriquées à Bayonne.

(2) Les Français se servirent pour la première fois de la baïonnette à douille à la bataille de Steinkerque, 4 août 1692.

Au commencement de l'introduction des armes à feu portatives, ceux qui en étaient porteurs paraissent avoir transporté leurs munitions et chargé leurs armes comme il leur plaisait. Quelques-uns se servaient de cartouches, d'autres de poires à poudre et tous étaient dans la nécessité d'employer pour amorcer, de la poudre pilée ou pulvérisée, alors appelée poudre d'amorce ou poudre serpentine. Quant à l'ancienne méthode pour charger les armes à feu portatives, un ancien auteur donne à entendre que tous les bons mousquetaires, coulevriniers, etc., introduisaient du papier ou quelque chose d'équivalent entre la poudre et la balle, mais plus particulièrement sur la balle. Il attribue le fréquent manque d'effet des coups à cette circonstance, que par suite du défaut de papier sur la balle, cette dernière roulait souvent hors du canon (1). Nous apprenons par là que cette pratique

(1) Il n'est peut-être pas dénué d'intérêt de présenter au lecteur une citation des *Discours sur la guerre* de William, où il décrit le maniement des anciennes armes à feu portatives. « Mais ici on peut demander ce que j'entends par bien charger les armes à feu? A quoi je réponds, que je ne tiens ni arquebuse, ni mousquet pour bien chargés, pour le service en campagne, s'ils ne sont pas chargés avec une quantité convenable de poudre et avec du papier doux goudronné

n'était rien moins qu'universelle et nous pouvons juger combien le tir dut souvent être sans effet.

Sous le règne de Jacques et de Charles Ier, on ajouta à l'armement un accessoire pour faciliter le chargement des mousquets, appelé *bandoulière*. C'était un large baudrier passant par-dessus l'épaule gauche et pendant du côté droit. Cela servait non-seulement à soutenir les armes à feu, mais encore à porter suspendues une douzaine de boîtes dont chacune contenait une charge de poudre, ainsi qu'un sac pour les balles. (Fig. 34). Mais la bandoulière était à la fois encombrante et dangereuse; souvent ses boîtes s'embarrassaient les unes dans les autres, souvent elles prenaient feu et faisaient explosion; tandis que les chocs des unes contre les autres dénonçaient souvent la présence du soldat à l'ennemi.

ou des bouts de mèche, ou quelque autre chose pour la retenir, et également sur la balle, la même ou une plus grande quantité pour serrer la balle et la maintenir, ou je voudrais au moins que quelque chose comme cela fût poussé sur la balle avec la baguette pour maintenir celle-là sur la poudre.» Alors il poursuit en émettant l'avis que les balles ne devraient pas être trop petites, mais devraient s'ajuster exactement au canon. (P. 136, 7.)

SUR DE NOUVELLES APPLICATIONS A LA GUERRE.

J'ai signalé précédemment la plupart des causes qui limitent la portée des projectiles ; je vais maintenant faire connaître aussi brièvement que le permet ce que je dois à la vérité et à l'importance du sujet, les moyens qui ont été proposés pour augmenter cette portée, ainsi que les résultats de celles de ces inventions qui sont arrivées jusqu'à l'essai pratique; je discuterai ensuite s'il est possible qu'il existe pour cela, comme on le dit, des méthodes qu'on tient secrètes, et s'il est probable qu'on en découvrira d'autres.

On a déjà parlé de l'opinion communément répandue, que la science chimique est en état de fournir aux artilleurs quelque substance plus forte que la poudre, pour parler vulgairement, à l'aide de laquelle on pourrait obtenir une énorme augmentation de portée. J'ai déjà montré le peu de valeur de cette opinion; j'ai fait voir combien les chimistes déclinent une pareille compétence; j'ai prouvé que s'ils affichaient la prétention d'être les dépositaires d'un pareil secret, le mathématicien et l'artilleur pratique recevraient leur dire avec

incrédulité, et ce serait justice, parce qu'il serait en opposition avec des lois incontestables. Un chimiste serait aussi bien venu à dire qu'il pourrait annihiler l'attraction due à la gravitation, qu'à annoncer qu'il pourrait préparer un tel composé ou une telle poudre à canon.

On peut dire que la chimie est un champ dont les trésors sont encore peu connus, que, quoique les composés explosifs que les chimistes connaissent généralement soient inférieurs en force propulsive à la poudre à canon, ce fait en lui-même n'est pas suffisant pour autoriser la supposition que quelque composition particulière, d'une puissance excessive, ne puisse pas être découverte et tenue secrète par quelque individu favorisé; l'objection n'en subsiste pas moins. Il y a un point au-delà duquel aucune agmentation de force initiale ne peut augmenter la portée d'un projectile, *et ce point est largement dans les limites qu'embrasse la force de la poudre.*

Nous avons donc raison d'affirmer que, quelque avancées que soient aujourd'hui toutes les sciences se rattachant à l'art militaire, on ne peut réaliser, avec l'artillerie ordinaire (canons et engins de cette sorte) que très-peu d'augmentation de portée, et

que ce peu ne sera pas dû à l'effet d'une nouvelle composition de poudre à canon, mais sera la conséquence de perfectionnements dans la construction mécanique des projectiles et des pièces qui servent à les lancer, l'augmentation de dimension des canons, etc.

La plus longue portée et la plus grande vitesse qui aient jamais été réalisées par l'artillerie, soit ancienne soit moderne, jusqu'à l'époque de 1840, est de 5,720 yards ou juste trois milles un quart; la durée du trajet ne fut que de trente secondes un quart, ce qui suppose un espace de 2,100 pieds parcouru dans la première seconde de temps. La pièce d'artillerie employée en cette circonstance, était un canon de cinquante-six livres, fondu suivant le principe de M. Monk, qui suggéra l'idée avantageuse d'enlever au canon une portion considérable du métal inutile qui se trouvait en avant des tourillons, pour le reporter sur la culasse, où une augmentation de force est seule désirable. Cet arrangement permet l'emploi d'une plus forte charge de poudre, sans s'exposer au danger d'un éclatement. La quantité de poudre employée dans l'expérience dont je viens de parler fut de dix livres *et le boulet pesait soixante-deux livres et*

demie, circonstance qui demande quelque explication, puisque j'ai dit que le canon était de cinquante-six livres. Voici cette explication : le moment d'un projectile est le produit de sa masse par sa vitesse; en augmentant la masse, par conséquent, ou en d'autres termes, en ajoutant à son poids, sans ajouter à son volume, nous acquérons une augmentation de moment proportionnelle. Le projectile dans le cas présent était un obus en fonte rempli de plomb; de là son poids de soixante-deux livres et demie.

Une portée à peu près égale fut réalisée pendant la guerre de la Péninsule, par les Français, qui lancèrent des bombes sur Cadix d'une distance de plus de trois milles. Mais ils se servirent de mortiers énormes, dont un existe encore aujourd'hui dans le parc de Saint-James, et employèrent les plus grandes charges de poudre connues des modernes; de plus les projectiles étaient des obus presque remplis de plomb, dont le vide restant contenait de la poudre susceptible d'être enflammée par une fusée, comme dans l'obus ordinaire. La plus longue portée obtenue jusqu'au commencement de 1858 est, je crois, de 7,270 yards.

Le fait que des obus de plomb accomplissent

une plus longue portée que des boulets en fonte de même calibre, semble avoir été découvert, du moins *une fois*, par hasard; les révélateurs étant totalement ignorants des principes sur lesquels était basé l'incident. On rapporte que pendant la guerre, un vaisseau américain ayant consommé tous ses boulets de canon et ne pouvant s'en procurer de semblables, en prépara quelques-uns en plomb, et que dans une autre action, le capitaine et l'équipage furent très-surpris de leur longue portée et de leur effet. Sir Howard Douglas est si satisfait de leurs avantages dans certains cas particuliers, qu'il recommande leur introduction dans la marine (1).

Parmi les moyens qui s'offrent le plus naturellement pour augmenter la portée d'un boulet, un des premiers semble être la diminution de son *vent* ou de l'espace qui existe entre lui et la paroi de l'âme du canon. Alors la perte éprouvée par la fuite des gaz de la poudre autour du boulet est réduite à un minimum.

Le genre de pièces courtes qu'on appelle carronades est fait conformément à ce principe, entre

(1) Artillerie navale, p. 60.

autres, et le résultat pratique confirme pleinement dans ce cas la justesse de la théorie. Mais cette règle ne s'applique pas universellement aux canons longs, fait qui peut paraître étrange tout d'abord, mais qui peut être aisément expliqué. Avec de très-grandes vitesses et des canons longs, il y a une grande colonne d'air à déplacer, avant que le boulet ne quitte le canon, cet air est condensé avec une grande rapidité par l'effort du boulet, et il lui offre une grande résistance s'il s'ajuste exactement dans le canon. Mais si le calibre du boulet est réduit, l'air a plus de place pour jouer autour de lui et le boulet sort plus facilement.

Persuadé, comme je le suis, qu'une augmentation considérable de portée ne peut être obtenue avec les canons non rayés des calibres actuellement en usage, reste toujours la question de savoir si cette augmentation de portée ne peut pas être acquise par d'autres moyens. Pour mieux préciser, supposons que cette portée augmentée soit de six milles, et voyons si elle ne pourrait pas être obtenue par quelque méthode particulière ou combinaison de méthodes. Cela ne semble pas tout à fait impossible, je ne vois pas de loi primordiale de la nature qui s'y oppose, quoiqu'il y ait des

difficultés si graves et si nombreuses qu'elles pourraient arrêter l'esprit le plus osé. Je ne suis pas assez théoricien, pour oublier que même la possibilité de cette portée admise, son application à la guerre est une tout autre affaire, qui embrasse des considérations de facilité d'exécution, de prix de revient, d'un acquit scientifique suffisant, tout à fait indépendante de la question de principe. Quant à la *possibilité* d'une telle portée, dégagée de tout accessoire et de toute difficulté éventuelle, je suis pour l'affirmation, quoique je n'ignore pas que des personnes plus familiarisées que moi avec ces sortes de questions n'aient pas été conduites par leurs recherches à la même conclusion. Si un boulet de canon, lorsque son trajet est presque achevé, pouvait rencontrer un canon aérien qui le lançât de nouveau ; si, en d'autres termes, on pouvait lui imprimer deux ou un plus grand nombre d'impulsions successives au lieu de se borner à une seule impulsion initiale, sa portée serait évidemment augmentée. Maintenant, en réalité, ces désiderata sont en grande partie accomplis par la fusée de guerre qui porte avec elle son propre agent de propulsion. La question de savoir si un boulet de canon *du plus fort calibre actuellement en usage*

peut être tiré à six milles, implique une loi primordiale de la nature, — une loi qui devra être suspendue pour qu'on puisse répondre à la question par l'affirmative, et qui par conséquent est une impossibilité. La question de savoir si une fusée de guerre peut atteindre cette distance, n'implique pas une telle suspension d'une loi naturelle, une telle impossibilité. La fusée s'offre à nous avec certaines conditions théoriques nécessaires pour le but que nous avons en vue, reste maintenant à voir si nous pourrons en tirer un parti suffisant pour l'atteindre.

Mais dans l'hypothèse que nous avons déjà admise d'une portée possible de six milles, nous n'avons besoin de supposer la nécessité d'une augmentation de portée ni du canon ni de la fusée. Supposons un mobile formé par la combinaison d'un boulet et de deux fusées ou plus, et ce mobile lancé d'abord avec un canon, une fusée d'amorce prenant feu en même temps, brûlant pendant le trajet, puis venant mettre le feu à la première fusée; à ce moment le boulet devenu libre tombant à terre, la fusée continuant son vol, mettant à son tour le feu à l'autre fusée qui, elle, accomplit le reste de la distance à parcourir.

Tout cela peut être admis comme possible, quoi-

que impliquant des millions de difficultés sur lesquelles je ne veux pas porter mon attention. En un mot, je ne suis pas fanatique de mon idée, et je pourrais remplir une demi-douzaine de pages des objections que je vois à y faire; — mais pourtant je ne vois aucune raison qui puisse la faire considérer comme d'une réalisation impossible.

Laissant de côté cette partie du sujet, poursuivons en examinant quelques autres perfectionnements qui ont été ou introduits ou qu'on propose d'introduire dans l'art de la guerre. La simple projection d'un mobile par la force de la poudre fut une grande découverte; l'application de la même substance à l'éclatement des projectiles creux en fut une ingénieuse et utile extension qui ajoute à la simple force de projection du boulet, les ravages du feu et la terreur qui l'accompagne, et porte au loin la puissance explosive de la poudre et son influence destructive.

Lorsqu'on commença à lancer des projectiles creux avec des mortiers, la science pyrotechnique n'était pas suffisamment avancée pour rendre le moment de leur éclatement entièrement certain; les principes de leur tir n'étaient pas non plus bien

connus. Ils étaient mal construits, mal calculés, et de plus le préjugé voulait que la fusée fût allumée avant le tir, ce qui ajoutait considérablement au danger aussi bien qu'à la difficulté du tir des mortiers. Ces défauts ont maintenant en grande partie disparu ; les obus sont d'un poids uniforme et les fusées sont si égales entre elles pour la durée de la combustion que, la distance de projection étant connue, le temps de la combustion peut être calculé avec une précision surprenante. Cependant, lorsqu'on considère qu'une petite fraction de seconde est dans quelques circonstances une chose très-importante, et qu'il n'est guère possible de tenir compte d'une si petite quantité de temps dans l'emploi d'une fusée, il est évident qu'un moyen simple et en même temps sûr et efficace de produire l'explosion, indépendamment du temps, serait une chose à désirer. Les différentes substances connues des chimistes comme susceptibles de faire explosion par percussion favorisent la réalisation de cette idée. Un obus ne pourrait-il pas être rempli de poudre comme à l'ordinaire et pourvu de quelque appareil, — tel par exemple qu'une capsule de cuivre à percussion, — qui pourrait faire explosion lorsque l'obus frappe le but, et communiquer le

feu à la charge intérieure de l'obus (1)? Au lieu d'un obus muni d'un appareil percutant, la matière percutante ne pourrait-elle pas faire partie de l'obus? Ces questions sont de celles qui se présentent d'elles-mêmes, et, au premier abord, il semble qu'on puisse aisément y répondre par l'affirmative; mais un peu de réflexion va nous révéler beaucoup de difficultés, dont quelques-unes ont déjà été signalées. On n'éprouve pas de difficulté à faire éclater un obus par la percussion; mais il est excessivement difficile de le faire éclater quand besoin est. L'action initiale de la charge du canon est par elle-même un puissant agent de percussion, et il en résulte que les obus percutants font explosion aussi souvent en sortant de l'âme qu'en frappant le but. C'est là un très-grand inconvénient, quoiqu'il ne soit peut-être pas inévitable; il en est un autre, c'est la difficulté et le danger de garder de pareils obus, et de les transporter d'un endroit à un autre, non avec les soins particuliers qu'un savant pourrait y apporter, mais exposés à toutes les secousses, à tous les chocs et autres éventualités

(1) Pour un obus lancé à la main, rien de plus facile. Pour un obus projeté par la poudre, peu de projets sont plus difficiles à réaliser.

du transport sur terre ou sur mer. Cette observation ne s'applique certainement pas aux obus qui sont munis d'un appareil percutant; mais ceux-ci sont sujets à d'autres graves objections. Dans un obus de cette espèce, il faut avoir recours à quelque procédé pour assurer le choc de cette partie de l'obus qui est munie de l'appareil percutant, — chose en elle-même très-difficile avec les canons non rayés, et qui (cette remarque s'applique toujours aux canons non rayés) n'a pu réussir qu'en abandonnant la forme sphérique et en adoptant la forme de poire pour la construction de l'obus, condition dans laquelle le gros bout reste en avant et par conséquent frappe le but le premier. Maintenant, l'opinion générale des hommes pratiques est contraire à l'emploi des projectiles non sphériques pour toute espèce de canon non rayé, et pour de longues portées, parce qu'ils sont excessivement irréguliers dans leur marche; que leur emploi est très-incertain et défie tout calcul. Mais à de petites distances, et spécialement dans le service maritime, les boulets ramés, dans quelques circonstances particulières, sont recommandés. Un petit canon peut alors servir à lancer un gros poids de métal et acquérir

ainsi une grande augmentation de puissance destructive.

L'observation ne s'applique qu'au canon et aux armes lisses; pour les carabines, la difficulté a été entièrement surmontée ou plutôt n'a jamais existé. Un corps allongé ou cylindrique s'ajustant convenablement à la carabine, lorsqu'on le tire, conserve en avant pendant sa marche l'extrémité qui est sortie la première de l'arme, ce qui est dû au mouvement de rotation qu'il acquiert. Si donc un cylindre creux de plomb, s'ajustant dans un canon rayé, est rempli de poudre et muni d'une capsule à percussion ou de tout autre appareil équivalent, il agira tout à fait comme un obus à percussion. Le capitaine Norton a appliqué ce principe, et, à propos de son invention, M. Wilkinson de Pall Mall, dans son ouvrage sur les machines de guerre, page 115, dit : — « Je n'en ai pas trouvé une (c'est-à-dire de ces balles) qui ait manqué de frapper par la partie antérieure et d'éclater à toutes distances, depuis 50 jusqu'à 300 yards. Dans une expérience, je tirai sur deux épaisseurs de madriers d'orme d'un pouce et demi chacun, doublés de tôle de fer et contenant entre eux une couche d'eau de quatre pouces, la balle passa à travers le tout, à 60 yards

de distance, et mit le feu à une boîte contenant de la poudre qui se trouvait de l'autre côté. » On voit donc bien que pour les petites armes rayées, il n'y a aucune difficulté. Le colonel Jacob a donné un grand développement à cette idée dans les guerres de l'Inde (1).

M. Pasley, il y a déjà bien des années, a proposé un appareil percutant très-sûr et très-ingénieux, dont l'explosion était fondée sur cette propriété, qu'a l'air soudainement comprimé de dégager assez de chaleur pour enflammer la poudre. Ses obus étaient pyriformes, pour les raisons données plus haut (2), et une cavité cylindrique aboutissant au gros bout de l'obus était remplie en partie de poudre et fermée par une tige en fer s'y ajustant à frottement dur. Cette tige dépassant considérablement la surface de l'obus, un choc soudain la chassait à la manière d'un piston et mettait le feu à la poudre. Ces obus furent expérimentés à Woolwich et rejetés, principalement parce qu'ils s'éloignaient de la forme sphérique, quoiqu'il ne fût pas difficile de signaler d'autres inconvénients. Par

(1) Voir la note de la p. 264.

(2) Dans le but de donner un excès de poids à l'extrémité percutante.

exemple, la quantité de poudre qu'un pareil obus pouvait contenir était tout à fait insignifiante, et la tige était sujette à se rouiller et par suite à ne plus pouvoir jouer, etc.

On a supposé jusqu'à présent que l'obus doit être rempli de poudre à canon et qu'une substance explosive par percussion doit être un simple agent d'ignition pour cette poudre. En effet, la poudre à canon, pourvu que nous puissions à volonté régler le moment de son explosion, donnera tout ce qu'on peut désirer, et si elle ne le fait pas, il ne faut attendre ni amélioration ni augmentation de puissance d'un agent chimique explosif, tandis que le danger qu'on courrait en maniant des obus qui en contiendraient serait immense. S'il entrait dans nos vues de spéculer sur le nombre et les combinaisons possibles des substances chimiques avec lesquelles, en théorie, on pourrait remplir un obus à percussion, notre tâche serait plus longue qu'intéressante et profitable, il suffit de dire que personne n'attend moins d'avantages réels de ces combinaisons, à un point de vue pratique, que les chimistes eux-mêmes, et il semble que leur opinion pourrait prétendre pour elle à un certain degré de respect.

D'après les observations déjà faites, il est évident que je considère comme les deux plus grandes difficultés que l'on rencontre dans la recherche des obus à percussion propres à être tirés avec les canons, mortiers, etc., savoir : 1° le danger de l'explosion par suite du choc produit par la déflagration de la charge ; 2° la difficulté d'obtenir qu'un obus frappe un objet par un côté donné, à moins qu'on n'abandonne la forme sphérique. Un peu d'attention suffira pour faire voir qu'aucune objection pareille ne s'applique aux obus lancés à l'aide de la fusée de guerre. En conséquence, si ces mobiles peuvent un jour être amenés à avoir une marche plus directe, à pouvoir être plus efficacement soumis au calcul, les limites de leur application seront considérablement reculées ; mais, même dans leur état présent, je me figure que, dans l'éventualité d'une autre guerre, elles pourraient être armées d'obus à percussion pour servir dans quelques cas particuliers (1).

(1) Les obus jetés près de la voiture de l'empereur des Français, le 14 janvier 1858, semblent avoir été chargés avec du mercure fulminant. Il paraît que ce composé a presque réduit en poussière le métal des obus par la violence de l'explosion qu'il a produite. La poudre à canon l'aurait simplement divisé en gros fragments.

PUISSANCE RELATIVE DES VAISSEAUX ET DES FORTERESSES.

Malgré la tendance de tout Anglais à persister dans l'idée avantageuse qu'il s'est faite de la puissance de ses remparts de bois, je crois qu'il serait difficile à un investigateur de bonne foi de se défendre d'arriver à cette conclusion que les vaisseaux proprement dits doivent, sous ce rapport, quelque peu rabattre de leurs prétentions. Un civil serait bientôt édifié à cet égard par le témoignage direct de Sir Howas Douglas et, comme conséquence, par celui du commodore Dahlgren. Quant au système *Paixhans* ou incendiaire qui a été récemment adopté sur une si grande échelle, son véritable caractère est évidemment de détruire les bordages. Les obus tirés avec des canons longs ne sont pas assez lourds pour compenser l'effet produit par le choc de boulets pleins contre des remparts de pierres, tandis que les fortifications en pierres, en attaquant les vaisseaux armés d'obusiers avec leurs propres armes, sont comparativement très-redoutables. Aussi la question est de savoir si, dans l'avenir, les vaisseaux armés de canons tirant des

boulets pleins pourront s'approcher assez près d'une forteresse pour la détruire. La question de l'attaque par mer, comparée à la défense par terre, est toujours une chose difficile à décider. Les batteries flottantes ont bien réussi en tant qu'elles ont été essayées, et il reste à voir dans quelle mesure le système de mortiers composés d'anneaux de l'invention de M. Mallet est applicable. Contre des vaisseaux, les feux verticaux des mortiers seraient à peu près sans efficacité, tandis que contre les forteresses il ne semble pas y avoir de limite à leur application, en admettant qu'ils soient construits d'une manière convenable. Par conséquent, il semblerait que, dans l'avenir, les forteresses sont destinées à être détruites par le feu des vaisseaux, — non par le feu des batteries, mais par des bombardements. L'expérience de l'attaque de Sweaborg a prouvé que les vaisseaux de ligne, avec leur armement actuel, ne pouvaient faire que peu de mal à des fortifications en granit bien construites, à des distances dépassant 500 yards.

Naturellement, les remarques qui précèdent ont été écrites avant l'emploi des vaisseaux cuirassés. Maintenant, la question est de savoir si l'artillerie des forts peut endommager de pareils vaisseaux.

L'impression générale, parmi les artilleurs, est que les limites de calibre, de puissance et de résistance de l'artillerie ont déjà été atteintes, sinon dépassées. Or, aucune artillerie actuellement construite ne peut pénétrer ou même briser les cuirasses en fer de cinq pouces et demi d'épaisseur, à une distance plus grande que 200 yards.

DES MÉTHODES D'ATTAQUER SOUS-MARINE.

Depuis l'origine des guerres maritimes, les moyens de faire des avaries à un vaisseau ennemi, au-dessous de la ligne de flottaison, ont toujours été l'objet de beaucoup de recherches. Pour arriver à ce résultat, les anciennes galères de la Grèce et de Rome étaient armées de becs pointus sous-marins, qu'on appelait éperons et qui, poussés par l'action des rames contre un vaisseau qui venait à leur rencontre, le brisaient et le perforaient. Le génie de laguerre navale moderne n'a pas admis l'emploi de pareilles méthodes d'attaque (1), et par conséquent elles ont été depuis longtemps abandonnées. Cependant vers 1850, M. Nasmyth, l'inventeur du

(1) Les Américains ont renouvelé ce procédé des Grecs et des Romains dans la guerre de sécession des États-Unis.

marteau à vapeur, a soumis à l'examen de l'amirauté le projet d'un steamer en fer à l'épreuve de la bombe, qui, disait-il, était propre à détruire vaisseaux ou escadres. Il avait pour propulseur une vis d'Archimède, et marchant avec une vitesse de six nœuds à l'heure, il se ruait sur un vaisseau et lui faisait une ouverture de plusieurs pieds au-dessous de la ligne de flottaison. De fait, c'était l'effet d'un vaisseau en abordant un autre avec une vitesse de six nœuds à l'heure, et placé par l'emploi de moyens mécaniques dans les mains de trois hommes seulement (1).

L'invention de l'américain Fulton était bien

(1) Le sort de l'espadon qui, après avoir percé le flanc du navire, se trouve dans l'impossibilité de retirer son arme, et n'échappe qu'en en faisant le sacrifice, aurait pu fournir à M. Nosmyth un utile enseignement. En admettant qu'il pût approcher un vaisseau et le perforer, il se trouverait ensuite littéralement comme pris au piége. Mais sa machine serait affreusement maltraitée par les boulets et arrêtée par les embarcations du navire, longtemps avant que cette catastrophe, quelque peu comique, ne pût avoir lieu. Si les erreurs étaient franchement reconnues, le labyrinthe dans lequel la vérité se tient cachée serait moins difficile à parcourir. (La note qui précède, écrite d'un ton tranchant, comme s'il ne pouvait pas y avoir de doute sur l'événement, doit être retirée).

plus ingénieuse ; il construisit réellement un navire pouvant plonger et marcher sous l'eau. Dans l'*Annuaire* de 1802, se trouve un compte-rendu de ce bateau plongeur, emprunté au rapport du citoyen St-Aubin, homme de lettres à Paris et membre du tribunat, qui confirme le dire de l'inventeur par le succès de son expérience : « Je viens, » dit M. St-Aubin, « d'examiner les plans et coupes d'un nautilus ou bateau plongeur inventé par M. Fulton, semblable à celui avec lequel il a fait successivement ses curieuses et intéressantes expériences au Havre et à Brest. Le navire plongeur de la construction duquel il s'occupe maintenant, sera assez grand pour contenir huit hommes et des vivres pour vingt jours, et il pourra plonger à 100 pieds sous l'eau, si c'est nécessaire. Il a construit un réservoir d'air qui pourra permettre à huit hommes de rester sous l'eau pendant huit heures.

« Lorsque le navire est au-dessus de l'eau, il a deux voiles et présente l'aspect d'un navire ordinaire. Lorsqu'il veut plonger, les mâts et les voiles sont amenés. Dans ses expériences au Havre, M. Fulton, non-seulement demeura une heure entière sous l'eau, avec trois de ses compagnons,

mais il maintint son bateau parallèle à l'horizon, à une profondeur donnée. Il prouva que la boussole fonctionne aussi correctement sous l'eau qu'à la surface, et que sous l'eau le bateau marche à raison d'une lieue à l'heure, par un mécanisme construit à cet effet. » — vol. XLIV.

Quelque chimérique que puisse paraître l'idée d'appliquer un pareil bateau sous-marin aux besoins d'une guerre véritable, le comte de Stanhope (autorité qui n'est pas sans compétence) croyait à la possibilité d'exécution de ce plan, et en 1803, il annonça à la chambre des lords qu'il avait soumis à l'examen de l'amirauté une invention pour protéger les vaisseaux contre un pareil assaillant. On dit que notre gouvernement acheta la neutralité de M. Fulton, et qu'en conséquence de ce marché, celui-ci retourna en Amérique et que l'invention en resta là. Pendant la guerre contre la Russie, un navire sous-marin fut envoyé en Crimée, sur le vaisseau le *Prince Noir* (*the Black Prince*), et périt avec ce vaisseau prédestiné. Ce navire avait 100 pieds de long. Son système de construction était le même que celui imaginé par M. Payerne et employé par le gouvernement français, dans la construction de la digue de Cherbourg.

Je suis porté à croire, d'après le résultat de quelques expériences, qu'on peut construire un mobile purement sous-marin, sans danger dans son emploi et d'une application facile. J'ai depuis longtemps réfléchi à un projectile de cette espèce et en effet, en 1845, j'écrivis à feu l'amiral sir Charles Napier, pour l'inviter à vouloir bien assister à une expérience avec un petit modèle que j'avais préparé. Il me fit une réponse très-polie, me donnant à entendre que les canons étaient suffisants, et la chose en resta là.

Quand les navires cuirassés furent définitivement adoptés, je réfléchis de nouveau à ma proposition et je fis soumettre mon projet avec des dessins au bureaux de la guerre. On l'approuva dans sa généralité, mais sur mon insistance pour qu'il fût éprouvé de suite, les pièces me furent renvoyées avec une certaine colère et l'avis que mon invention, contradictoirement à ce qu'on avait dit d'abord, était impropre au service de Sa Majesté.

Je fis ensuite offrir ma proposition à la commission spéciale de l'artillerie, dont un membre (officier de l'armée navale) ne trouva d'autre objection à mon invention que la question d'humanité.

Pendant ce temps, je fus informé officieusement

mais par une voie sûre, que quatre de mes engins étaient en construction à Woolwich.

L'invention fut enfin proposée à l'amirauté qui l'accueillit, et je suis informé que la machine a été essayée à Portsmouth et y a réussi.

J'ai rempli mon devoir de bon citoyen et j'attends avec quelque curiosité le dénouement du rôle quelque peu équivoque que l'administration a joué dans cette affaire.

En attendant, comme objet de démonstration, je me déclare prêt à couler bas, à une distance minimum de 1,000 yards, le vaisseau cuirassé le plus fort ou à enfoncer un simulacre équivalent, que tout gouvernement jugera convenable de mettre à ma disposition.

MACHINES INFERNALES.

Les machines infernales russes employées pendant le cours de la dernière guerre sont un nouveau moyen ajouté aux ressources de l'attaque et de la défense sous-marines. On peut les représenter comme des bouées retenues sous la surface de l'eau par des ancres et disposées de telle sorte qu'un vaisseau passant par-dessus et venant à les toucher,

faisait agir un piston sur quelque matière détonnante et mettait ainsi le feu à une masse de poudre.

Il semble que l'idée de ces machines est bonne et qu'on pourrait par la suite y trouver de puissantes ressources.

SUR LE MEILLEUR ARMEMENT POUR UN VOLONTAIRE.

Ces pages ne sont pas écrites dans un but politique, et par conséquent pour discuter les avantages relatifs des armées permanentes et des armées de volontaires, mon principal but a été d'envisager la question des armes à feu au point de vue physique, de développer leurs propriétés, de faire connaître leurs principes et les conditions dans lesquelles elles produisent leur maximum d'effet. Il me semble qu'il a été suffisamment démontré dans le cours de ce volume que, relativement à l'emploi des armes à feu portatives les plus perfectionnées, les volontaires ont un avantage considérable sur les troupes régulières (1); circonstance qui, lorsqu'on

(1) Les archers bretons n'eussent jamais acquis leur supériorité, sous le régime des armées permanentes. Chaque archer possédait un arc, non pris au hasard dans un arsenal militaire, mais exactement façonné d'après ses propres exigences.

l'envisage en tenant compte de l'excellente configuration de la surface topographique de la Grande Bretagne, au point de vue de la défense, ainsi que du fait admis par les écrivains les plus récents sur la tactique militaire, que les progrès récents réalisés dans la fabrication des petites armes ajoutent considérablement à la puissance de la défense sur celle de l'attaque ; nous démontre que de toutes les nations, nous autres Anglais, nous sommes les mieux dotés par la nature, pour repousser une injuste agression, par une résistance nationale.

Quel devrait alors être l'armement d'un volontaire ? Procédons à l'examen de cette question.

Quant au volontaire d'infanterie, — il doit nécessairement avoir une carabine — personne n'oserait penser à l'armer d'un fusil. Quant à l'espèce de carabine, celle qui résistera aux épreuves déjà mentionnées n'est pas à dédaigner. La carabine doit-elle se charger par la culasse ou par la bouche? Je préférerais la première, employée avec des balles ou pickets à expansion ; et tout bien considéré, il est difficile de trouver mieux que le modèle Enfield.

La carabine devrait-elle être à canon double? généralement parlant, je ne le pense pas. En pre-

mier lieu, les carabines doubles, excepté celles d'un prix excessivement élevé, sont loin d'être aussi justes que les simples, ce qui tient à la difficulté de placer deux canons dans un rigoureux parallélisme. Ensuite prenant en considération les chances de se tromper, pendant la chaleur d'un engagement, de laisser un canon non chargé, de doubler la charge de l'autre, de toucher la mauvaise gachette, ajoutant à cela la tendance à un tir négligé provenant de la présence d'un second canon, pesant toutes ces circonstances, je ne me fais pas l'avocat des carabines doubles en général, quoique ceux qui en ont et y sont accoutumés aient sans doute un léger avantage.

A la chasse du cerf, les meilleurs coups sont souvent ceux du second canon, parce que généralement ces bêtes s'arrêtent brusquement un instant en entendant la détonation des armes à feu et donnent ainsi au chasseur le temps de bien viser. Un pareil argument ne s'applique pas au tir de guerre. Quant au sabre fixé à la carabine à la façon d'une baïonnette ou séparé à volonté pour s'en servir à la manière ordinaire d'un sabre, les volontaires feraient bien d'examiner quel modèle ils doivent choisir. Règle générale, les volontaires sont

plus habitués au maniement de l'épée qu'à celui du sabre, à une arme d'estoc qu'à une arme de taille, et quand tel est le cas, c'est l'épée qui doit être le type préféré. Elle est plus légère que le sabre, et quoique délicate et fragile en apparence, elle est aussi, dans des mains modérément habiles, une arme beaucoup plus meurtrière. Quant aux pistolets, il n'y en a pas de comparables aux révolvers d'Adam.

Si nous passons maintenant aux volontaires de la cavalerie, — je commencerai par remarquer que les perfectionnements apportés aux armes à feu ont tellement diminué l'utilité et la sphère des opérations de la cavalerie, qu'un officier d'artillerie distingué, le colonel Chesney, dit que dans l'avenir elle sera considérée comme de l'infanterie montée, — c'est-à-dire, se servant de chevaux comme moyen rapide de transport sur un point donné où elle doit combattre à pied, plutôt que comme de la cavalerie proprement dite.

Leurs armes doivent être des pistolets revolvers, des mousquetons se chargeant par la culasse (ceux du colonel Greene sont en partie adoptés pour notre cavalerie), tous deux rayés — et des sabres.

Si on me demande pour quelle raison je recom-

mande le mousqueton rayé se chargeant par la culasse, pour la cavalerie, tandis que je plaide pour d'autres armes pour l'infanterie, la réponse est simple. Le mécanisme du chargement par la culasse, quoique parfaitement compatible avec les petites charges de poudre des pistolets et mousquetons est à peine assez résistant pour être appliqué sans danger aux armes d'un plus fort calibre, comme doivent en avoir les volontaires à pied, pour être à même de réaliser les longues portées que la carabine est maintenant en état de fournir. L'opinion commence à prévaloir, que les mousquetons (même pour la cavalerie régulière) sont de mauvaises armes qu'on devrait abandonner pour adopter les pistolets-revolvers.

Je ne terminerai pas ces observations sur l'armement des volontaires, sans appeler l'attention sur la fusée de guerre, comme une arme spécialement appropriée à leur organisation.

Congrève n'eut pas plutôt établi sa fusée, qu'il recommanda fortement son emploi, tant par la cavalerie que par l'artillerie et l'infanterie. Son avis ne fut jamais suivi dans ce pays, mais en Autriche des fuséens à pied furent organisés. Ils eurent un succès formidable contre l'insurrection

Hongroise en 1848 et dans d'autres occasions. Je ne sais si les fusées employées dans ces circonstances furent des fusées à baguette de Congrève ou des fusées à rotation de M. Hale ; mais ces dernières présentent tant d'avantages sur les premières, même sous le rapport de la facilité du transport, que s'il était désirable du temps de Congrève, que l'infanterie eût des fusées, c'est à plus forte raison désirable aujourd'hui. On a entouré la fabrication des fusées d'un grand mystère, mais ce n'est pas le moins du monde une chose difficile ; en effet, on les fabriquait autrefois en Angleterre sur une grande échelle pour la chasse des cachalots. J'avais une fusée de baleine chargée en ma possession, mais je la plongeai dans l'eau et la détruisis ainsi, ayant un jour découvert qu'un garçon à mon service s'en servait comme de tisonnier.

CONCLUSION.

La tâche que je me suis proposée, en commençant ce livre, touche à son terme. Bien des fois, pendant que j'en poursuivais le cours, j'ai regretté d'être obligé de traiter si sommairement plusieurs

documents intéressants relatifs à mon sujet. Le simple changement de forme et de puissance que les armes de toutes sortes ont subi, offre par lui-même un haut intérêt. Lorsqu'on le considère par rapport à l'état des sociétés qui l'ont accompli, l'intérêt s'accroît encore bien davantage. La massue les épieux en bois sont les emblèmes de la vie sauvage, — de la vie d'hommes à peine séparés d'un pas des hôtes errants des forêts. L'arc et la fronde sont les symboles d'un degré de civilisation plus élevé, d'une société d'hommes dont l'esprit a commencé à se développer et à saisir les premiers principes de la science mécanique. La découverte de l'arbalète fut un grand progrès dans l'art de la guerre ; la construction de l'énorme artillerie des anciens en marque un plus grand encore :

Le bélier, la baliste et la catapulte sont contemporains des riches et puissantes cités, entourées de hautes murailles et flanquées de tours superbes. La guerre ne se fait plus pour une mesquine rancune individuelle, c'est un agent qui sert à atteindre un grand but, un but politique, quelquefois recommandable.

Le plus grand de tous ces progrès fut la conséquence des applications de la poudre à canon ; nous

n'avons plus seulement à suivre pas à pas les progrès de l'art de la guerre, à être les peintres naïfs du vol des projectiles et les narrateurs candides de la terreur due à leurs effets, nous voici insensiblement entraînés dans une grande révolution politique ! La découverte de l'imprimerie, celle de la boussole et celle de la poudre à canon ont lieu presqu'en même temps. De ces trois agents également révolutionnaires, lequel a le plus contribué, à l'époque de leur apparition, à modifier la constitution de la société ? Est-ce le premier ? Est-ce le dernier ? il est difficile de le dire.

Parmi les conséquences résultant de l'emploi de la poudre à canon, nous pouvons spécialement en citer deux. A l'avenir le pouvoir sera probablement à ceux qui y auront le plus de droit, il sera du côté des états les mieux policés, et par conséquent les plus éclairés. La force brutale sera peu de chose, la science fera tout. De plus la découverte de la poudre à canon a grandement contribué à la chute du système féodal. Sous le rapport des chances de danger, il ne peut plus y avoir une classe de guerriers privilégiés, que les glaives et les flèches frappent en vain. Plus de ces preux étouffant dans des

juste-au-corps de buffle et dans des armures d'acier; figurant pendant la paix dans des joûtes innocentes, inspirant à nos femmes et à nos filles un sentimentalisme faux, et dans un combat réel, ne pouvant ni être blessés, ni quelquefois blesser les autres, à cause du poids de leurs armures. Le temps de ces parades est passé, grâce à l'infernal salpêtre et au fruit de ses entrailles, « la poudre à canon. » Personne, en allant maintenant se battre, ne peut prétendre se soustraire au danger et à la mort. Un boulet qui siffle, un obus qui jette des flammes, ou une fusée, tous se souciant également peu de la dignité personnelle, peuvent faire mordre la poussière à un général tout aussi bien qu'au dernier soldat (1)!

(1) L'équipement des chevaliers et de leurs hommes d'armes était tout à fait impropre au génie de la guerre, lorsque l'emploi des petites armes à feu fut devenu général. Chaque homme d'armes devait avoir *cinq chevaux*, un qu'il montait pour charger et à cause de cela appelé cheval de bataille, les autres pour porter ses équipages et pour le porter lui-même dans les marches. Quelques tentatives furent faites en Allemagne pour diminuer ce train embarrassant, en ne permettant qu'un seul cheval à chaque homme d'armes, mais en accordant une voiture pour chaque trente hommes. Voir l'*Art de la guerre*, de Machiavel.

Je demande bien pardon aux dames de parler si légèrement de leurs amis, les chevaliers du bon vieux temps, au souvenir desquels s'associent dans leur esprit des idées si romanesques. Mais certainement, au commencement de l'introduction des armes à feu, ils tremblèrent et se plaignirent beaucoup plus que des hommes si braves de réputation et si choyés des dames n'eussent dû le faire. Ils essayèrent de se défendre contre l'incommodité des projectiles par des cottes de mailles plus lourdes et des cuirasses plus fortes ; ils n'en eurent que l'air si grotesque plus gauche, tandis que leurs pauvres coursiers se défendirent d'aller dans la mêlée, gémissant et soufflant bruyamment sous le poids extravagant de leurs cavaliers. Je suis sûr que si nos modernes ladies les eussent vus ainsi, leurs sentiments eussent participé plutôt de la moquerie que d'un amour chevaleresque. Quelle mort peu romantique c'était que d'être pourfendu d'un coup de masse d'armes, comme un énorme crustacé. Mais je ne souhaite pas que les dames éprouvent, au sujet des travaux de la guerre, d'autre sentiment que celui du regret de l'existence d'un pareil fléau. Je combats seulement cette mise en scène d'un faux courage, cet insipide et niais sentiment que le

système des tournois entretint si longtemps parmi nous, et par conséquent je décris avec une satisfaction toute particulière sa décadence au moment de l'introduction des armes à feu.

NOUVELLES RESSOURCES DE GUERRE.

CHAPITRE PREMIER.

A aucune époque, depuis la découverte de la poudre à canon, on n'a poursuivi avec plus d'ardeur et de succès, l'application de la science aux moyens de destruction, que pendant ces dix dernières années; et comme pour fournir une nouvelle preuve de la coïncidence providentielle des choses, quelques-unes de ces applications de la science les plus propres à accroître les ressources meurtrières de la guerre, sont une actualité et se produisent juste au moment où l'Europe semble destinée à être mise en feu, sous prétexte de jeter une nouvelle lumière sur quelques articles contestés du traité de Vienne.

Jamais peut-être, dans toute l'histoire des projectiles, une arme de destruction, grande ou petite,

n'a éveillé par elle-même l'attention populaire au même degré que le canon Armstrong, maintenant officiellement adopté dans notre service.

Je suis en mesure de donner pour la première fois une description complète de ce canon accompagnée de dessins exacts (1), ce qui, je suppose, ne sera pas sans intérêt à l'époque où nous sommes. Je décrirai aussi le canon rayé de Cavalli (du service de Sardaigne), ainsi que le canon suédois de Warendorf, et enfin je dirai quelques mots du système d'artillerie rayée dont la France est actuellement en travail.

Non seulement les canons rayés ont fait quelques pas en avant, suivant l'opinion des gens de guerre, depuis que j'ai publié mon traité sur les armes de jet, l'année dernière; mais les fusées de guerre à rotation ont été aussi perfectionnées. Quelques

(1) Je sais qu'un journal technique illustré a publié des dessins des canons Armstrong. L'éditeur a déclaré franchement qu'il ne pouvait pas en garantir l'exactitude, et en effet, on trouvera qu'ils diffèrent par quelques détails importants de ceux que j'ai donnés et que je tiens de source respectable. Pour citer un exemple: la vis de culasse du canon Armstrong est percée, comme je la représente, tandis que le journal en question la fait pleine. La comparaison fera encore apercevoir quelques différences de détail.

ingénieuses modifications y ont été introduites dans le but d'augmenter leur justesse et leur portée. Des renseignements sur ces dernières seront donnés plus loin : je les ai puisés à des sources respectables, ou ils sont le résultat de mes observations personnelles.

Il y a quelques personnes, je le sais, qui pourraient se sentir disposées à me blâmer de donner de la publicité à un secret d'État scientifique; les faiseurs d'objections de cette espèce sont venus au monde probablement un siècle trop tard. Le temps des secrets d'État scientifiques est passé pour toujours. Admettre la possibilité de les garder entre les quatre murs d'un arsenal, c'est faire injure à l'esprit de recherche. On ne peut attendre le silence en pareille matière que de la part des hommes de science en place. Une personne comme moi, non employée du gouvernement, ne doit obéissance (sur le terrain de la science) qu'à l'esprit d'investigation et à la force de la vérité. Je n'ai éprouvé d'ailleurs aucune difficulté à recueillir tous les détails nécessaires à la description complète des canons Armstrong.

Si un reste de doute eût existé dans mon esprit, relativement à la convenance d'initier le public

anglais à ces faits, ce doute eût disparu par la considération qu'avant que ces pages soient publiées, le secret que notre gouvernement affecte de garder si soigneusement sera connu, dans tous ses détails, des gouvernements de la France et des États-Unis.

Sir William Armstrong s'est nécessairement adjoint d'autres personnes pour l'enfantement de la pièce qui porte son nom, et je sais qu'à la suite d'une question d'argent, deux mécontents sont partis immédiatement, l'un pour la France et l'autre pour l'Amérique, avec des dessins et tous les détails relatifs au canon.

§ DE L'ÉQUILIBRE DES MOYENS DE DESTRUCTION.

Si nous étudions les découvertes successives faites dans une partie physique quelconque, nous trouvons habituellement qu'elles ont été stimulés par la perspective d'un avantage présumé ou par le sentiment d'un besoin reconnu. Quelque vagues que puissent souvent paraître les développements d'une invention, on trouvera généralement qu'ils ont quelque rapport implicite avec une cause réelle et appréciable. Les oscillations d'un système établi, par l'effet de forces agissant sur lui, font naître as-

sez souvent une idée de faiblesse, tandis que le phénomène convenablement compris est un signe de puissance. Un pendule suspendu librement et oscillant s'arrêtera bientôt, tandis qu'un pendule mu par un mouvement d'horlogerie continuera à osciller aussi longtemps que la force agissant sur lui subsistera.

Que signifient les oscillations que nous voyons subir depuis quatre ou cinq ans au système d'armement de l'Europe? La France, nation mobile, saisissant promptement le nouvel aspect des choses et prenant vite un parti, commença le mouvement. Pour quelles raisons a-t-elle dans ces derniers temps été modifiant continuellement son système d'armement sur terre et sur mer? Cette instabilité apparente d'opinion — ce parti de défaire le lendemain ce qu'on avait fait la veille, on le reconnaîtra, si on approfondit la question, ne proviennent pas d'une cause de faiblesse, mais sont dus à l'action exercée par des découvertes qui montrent de nouvelles applications et de nouvelles propriétés, révèlent de nouvelles ressources et font que ce qui était fort hier est faible aujourd'hui. D'autres nations furent graduellement mais inévitablement entraînées dans le courant de la révolu-

tion militaire, et alors, les oscillation des systèmes d'armement ont été constamment entretenus; ce qui surprend ceux qui ne voient les choses que superficiellement, mais devient facilement explicable pour ceux qui creusent sous la surface des influences en jeu. L'oscillation en avant et en arrière, le défaut apparent de moyens dirigés vers un but d'unité — peuvent être attribués à l'action que ces découvertes exercent sur les agents de destruction.

Tant que l'opinion populaire sera acceptée comme juge de la valeur comparative des systèmes d'attaque et de défense sur terre et sur mer, les changements rendus nécessaires (et par conséquent inévitables) seront imposés à l'insuffisante pénétration et à l'irrésolution de ceux qui sont au pouvoir et par qui ces armements sont consentis. Changer tout l'armement d'une nation n'est dans aucun cas chose facile. Il faut consulter la science des finances aussi bien que la science des forces physiques sur lesquelles sont basées les ressources de la guerre moderne. Je surprendrai beaucoup de personnes qui en sont venues à regarder l'Angleterre comme personnifiant le génie de l'impassibilité, quand elles sauront que dans ce pays, quoiqu'en effet, il accepte habituellement des modifications d'arme-

ment plus lentement que ses voisins de l'autre côté du détroit, quand une fois il les a acceptées et qu'il s'agit de les mettre à exécution, la *force vive* soutenue de l'or anglais fait plus qu'égaliser la rapide faculté de vouloir des Gaulois. En fait de petites armes rayées nous en avons un exemple. Vers l'année 1835, les autorités militaires françaises admirent qu'une forme particulière de carabine, *la carabine à tige* était radicalement mauvaise, et cependant, encore aujourd'hui, par défaut de ressources financières, la majeure partie de l'infanterie française est armée avec cette arme défectueuse. Au contraire, ce ne fut pas avant 1850 qu'on admit en Angleterre qu'il était désirable que l'infanterie de ligne eût des armes rayées et neuf ans ne se sont pas écoulés depuis, que l'armée anglaise est entièrement armée de carabines. La carabine Minié a été supplantée par la carabine Enfield, et cette dernière, je le crois, est destinée à être supplantée à son tour, avant qu'il soit longtemps, par la carabine à âme ovale, de l'invention de Lancaster, que les expériences suivies, dans l'armée anglaise, ont fait reconnaître comme étant incontestablement la meilleure (1).

(1) Pour preuve, voir le rapport du colonel Lane Fox.

Les changements que notre marine a subis dans ces dernières années sont un exemple à citer de l'apparente inconsistance d'opinions relativement aux principes d'armement de la Grande-Bretagne.

Les penseurs superficiels ne peuvent pas s'expliquer pourquoi on n'adopte pas le meilleur système de construction et d'armements navals, une fois pour toutes, et pourquoi on ne les conserve pas? Pourquoi il arrive qu'une année, ce sont les vaisseaux de ligne qui sont en faveur, une autre les frégates, et ensuite les chaloupes canonnières peu de temps après; pourquoi les proues armées d'éperons de l'antiquité trouvent des avocats ; et enfin, pourquoi on fait revivre l'idée de se défendre au moyen de cuirasses, et on lui donne un commencement de réalisation en en protégeant les flancs des vaisseaux, on n'en peut pas au premier abord trouver la raison. Mais ce changement soudain d'opinion — cette apparente incertitude de vues — s'expliquent facilement, lorsqu'on les étudie, en tenant compte de certains développements des ressources de destruction dont nous allons nous occuper présentement. De même aussi les changements qui paraissent capricieux et non raisonnés, et que l'artillerie de terre a subis et subit encore,

sont dans l'ordre naturel et s'expliquent d'eux-mêmes, lorsqu'on les considère en ayant égard à quelques circonstances dominantes. Juste au moment de la dernière guerre avec la Russie, la France venait d'apporter un changement organique à son système d'artillerie de campagne. Les canons raccourcis se trouvaient à peu près dans les conditions d'obusiers, et ramenés au calibre uniforme de 12, évalué d'après le poids du boulet plein sphérique de 12 livres. Maintenant, autant que je le puisse savoir, et je crois que mes informations sont conformes à ce qui se passe, les Français s'occupent de réduire leur artillerie de campagne à un modèle uniforme du calibre de 4 livres (1). Cela semble déraisonnable au premier abord, mais deviendra parfaitement compréhensible, à mesure que notre enquête avancera. Tous ces changements ne doivent être considérés que comme des oscilla-

(1) Il peut être nécessaire de rappeler au lecteur en général, qu'un canon de quatre livres, en langage ordinaire, est un canon qui est susceptible d'être chargé avec un boulet sphérique de quatre livres. Mais les canons rayés n'ont pas besoin d'employer des boulets sphériques ; ils sont habituellement chargés avec des projectiles allongés. Ainsi d'après le poids du boulet sphérique ordinaire, on ne peut pas juger de celui du projectile dont on se sert actuellement.

tions produites par la puissance de l'attaque et celle de la défense se dominant tour à tour, constituant une condition préparatoire, une époque de transition vers un état final de forces mieux équilibrées et qui à la longue s'établira entre elles.

(La suite au prochain numéro.)

EXPÉRIENCES

EXÉCUTÉES AVEC DES BOUCHES A FEU RAYÉES

SUR LA

CITADELLE DE MOLINA D'ARAGON,

AVEC UNE PLANCHE,

PAR M. DE BOURSON.

Molina de Aragon est une ville murée d'Espagne, située dans l'intendance de Guadalaxara, à 95 kilom. de Siguenza, et peuplée de 3,700 habitants. Elle fut prise par les Français en 1810. Elle a encore aujourd'hui ses anciens murs et sa citadelle qui datent du XIVe siècle ; la citadelle est placée sur le sommet d'une colline au pied de laquelle sont groupées les habitations.

On choisit, pour les battre, les trois courtines comprises entre la Porte des Chèvres et une tour pentagone qui forme le saillant sur ce point : ces courtines sont marquées sur le plan par les lettres *a, b, y*. Ces trois murs étaient dans un très-bon

état de conservation et formaient la région la plus accessible à la batterie ; en même temps elles étaient bien situées par rapport à la ville, qui, par tout autre point, était battue d'enfilade.

Les trois courtines ont 2^{m},3 d'épaisseur à la partie supérieure et 3 mètres à la partie inférieure. Elles étaient d'une construction solide : le matériel est de pierres brutes, de pierres calcaires et siliceuses, unies par un mortier de grande consistance à raison de son ancienneté, et ayant, en beaucoup d'endroits, le roc pour fondation.

La courtine *a* était celle à laquelle étaient destinées les pièces de 12 centimètres. Après avoir tracé une ligne horizontale dont l'extrémité, très-rapprochée du saillant, se terminait au terrain, on en prit une longueur de 10 mètres : la hauteur du mur aux extrémités de cette ligne était de 8^{m},9 et de 7^{m},2 à la partie extérieure, de 6^{m},1 et 8 mètres aux extrémités de la partie intérieure ; la hauteur de la crenelure, qu'il faut décompter des hauteurs précédentes, était de 0^{m},9. Le terrain, dont la plus grande partie était en roc, se trouvait donc être élevé de 2^{m},8 au-dessus de la coupe ou section horizontale ; mais cette élévation ne se rapporte, pour l'intérieur, qu'à l'extrémité la plus

rapprochée du saillant, à gauche de la batterie : à l'autre extrémité il y avait absence complète de terre-plein. La hauteur moyenne du mur massif était par conséquent de $7^m,1$.

La courtine du centre, celle qui est marquée de la lettre *b*, devait être battue par des canons de 8 centimètres. On en prit également 10 mètres sur la ligne horizontale : les hauteurs extérieures sont de $10^m,22$ et de $8^m,1$, et les hauteurs intérieures, de $10^m,3$ et de $10^m,5$. La courtine n'a donc nulle part de terre-plein, et, en soustrayant $0^m,9$ pour l'élévation de la crenelure, il viendra une hauteur moyenne de $8^m,26$.

La troisième courtine, à laquelle étaient réservés les canons de 24, avait à la partie extérieure 10^m de hauteur aux deux extrémités de l'horizontale, et, à la partie intérieure, $9^m,7$ et $7^m,1$ aux extrémités de part et d'autre ; le terrain a intérieurement une élévation de $0^m,3$ à la gauche et $0^m,7$ à la droite : la hauteur moyenne, celle de la crenelure étant défalquée, est donc de 8 mètres.

Ce dernier mur avait subi un peu de détérioration au parement extérieur : quelques pierres des rangées inférieures s'étaient éboulées.

Les batteries furent placées à 60 mètres des

murs qui devaient être battus : l'exposition des pièces était ménagée de manière que les directrices des canonnières formaient un angle de 65 degrés avec le mur en question.

On s'arrêta à la distance de 60 mètres, parce que le prolongement en arrière du terrain va augmentant d'inclinaison, ce qui créait une impossibilité physique d'éloigner davantage les batteries de la place ; et, même à la distance de 60 mètres, il fallait tirer avec les plus grandes élévations qu'aient enregistrées les comptes-rendus d'épreuves de tir. On donna une inclinaison de 65 degrés aux lignes de tir par rapport au mur, afin de désenfiler complètement la ville des projectiles qui auraient pu partir du mur lors de l'achèvement des brèches.

CONSTRUCTION DES BATTERIES DE CANONS RAYÉS DE 12 CENTIMÈTRES.

On nivela le terre-plein, en l'élevant à la gorge et au côté droit jusqu'à 1 mètre comme plus grande hauteur, en donnant 5 mètres à l'emplacement de chaque pièce et 10 mètres de largeur au terre-plein. Le coffre fut revêtu de pierre sèche et les merlons ou trumeaux, de mottes de gazon d'une épaisseur

de 2 mètres; les portes, qui étaient composées de deux battants s'ouvrant vers la partie inférieure, avec la cavité nécessaire au centre pour le canon de la pièce, furent assujetties par leurs cadres au moyen de 4 tirants fixés à de forts piquets au centre du coffre, et, pendant la construction des merlons, à 2 pointaux qui s'appuyaient à la partie supérieure de ceux-ci et les maintenaient dans leur position. On ne donna aux canonnières que l'ouverture nécessaire pour voir les 10 mètres de mur qu'il s'agissait de battre; on disposa le fond avec une inclinaison convenable de dehors en dedans pour distinguer la ligne horizontale sur laquelle les coups devraient être dirigés.

Le blindage était formé d'un madrier de pin de 0^{m},3 de quadrature, placé sur la crête intérieure du parapet ; parallèlement à ce madrier on en plaça deux autres, de manière que les extrémités des trois madriers étaient appuyées sur des chevalets faits de madriers enterrés à 0^{m},7 dans le terrain et fortement fixés à la partie supérieure qui avait la forme de ciseaux : au centre, on plaça un pied droit avec sa cale au milieu, et, au même point de celui de la gorge, on mit un troisième chevalet de même forme que ceux des deux extré-

mités. Sur les trois madriers on mit un lit d'autres madriers en sens perpendiculaire, et l'on couvrit enfin les jointures par des sacs de terre.

On couvrit aussi le côté droit avec du bois et des sacs de terre, en appuyant les madriers par l'extrémité inférieure au terrain et par l'extrémité supérieure, au blindage qui couvrait cette partie.

CONSTRUCTION DE LA BATTERIE DE CANONS RAYÉS DE 8 CENTIMÈTRES.

A cette batterie on forma le terre-plein en enterrant celui de la pièce de gauche et en élevant avec ces terres celui de la droite, en donnant 7 mètres d'emplacement à chaque pièce et 7 mètres de large au terre-plein.

La construction du merlon était la même que celle des canons de 12. Le blindage fut construit de la même manière et le côté droit fut couvert suivant le même mode : le côté gauche, le terrain étant couvert jusqu'à la genouillère, fut protégé par de grandes poutres placées en sens horizontal, soutenues par les appuis du blindage supérieur.

CONSTRUCTION DE LA BATTERIE DE CANONS DE 24.

On construisit le terre-plein en élevant la gorge,

de manière à acquérir 2 mètres ; on donna 5 mètres à l'emplacement de chaque pièce et 10 mètres de large au terre-plein.

On revêtit le coffre et les merlons de caissons des projectiles ogivaux pleins de terre, on remplit les canonnières de sacs, ayant les mêmes dimensions que ceux des autres batteries.

On blinda cette batterie suivant le même système que pour les autres, en se bornant à couvrir le côté gauche de poutres, dont l'extrémité inférieure s'appuyait au terrain, et l'extrémité supérieure au blindage.

Il y eut lieu de partager les portes de cette batterie en quatre battants, le diamètre du canon des pièces rendant cette disposition nécessaire. On employa ces différentes espèces de revêtements, parce qu'on n'avait que des sacs et qu'il ne se trouvait pas de ramures dans le voisinage : le nombre des sacs suffisait à peine pour les blindages et les canonnières.

FRONTONS DE MIRE.

On construisit un fronton de mire pour chaque pièce. Ce fronton se composait, d'une

part, d'une couronne circulaire dont les rayons étaient égaux à celui du goulot et de la bande élevée de la culasse de la pièce respective, et le pointage fut établi par une ligne parallèle à l'axe de la pièce.

I

TIR AVEC LE CANON LISSE DE 24.

Distance de la batterie : 60 mètres. Charge : 6 kilog. 03. Poids du projectile : 6 kilog. 03. Recul moyen : 9 mètres. Pénétration moyenne du projectile : 0 m. 3. Baromètre : 70,85. Thermomètre : 1° à 2° au-dessous de zéro à 2° 60′. Hygromètre : 76°.

18 décembre 1860.

Sur 60 coups, ou sur 60 projectiles pleins, 57 de ces derniers furent brisés ; 3 seulement restèrent entiers, savoir : le 9e, le 35e et le 60e. Pendant 4 heures de feu, ni la pièce ni son affût n'éprouvèrent aucune lésion. Au 36e coup, la coupe horizontale avait 1m,4 de profondeur moyenne ; le 56e coup traversa le mur. On pointa avec le fronton de mire. L'angle de tir était de 10 degrés pour la coupe horizontale.

19 décembre 1860 (suite de l'expérience du 18 décembre).

On lança 39 projectiles pleins, de 61 à 99, pendant l'espace de 5 heures. 2 projectiles restèrent entiers; tous les autres se brisèrent. Le 80ᵉ coup acheva la coupe horizontale : néant jusqu'à la fin. Ni la pièce ni l'affût n'éprouvèrent de dommage. Les reculs étaient très-grands, parce que l'esplanade était couverte de neige; on en limita la force en mettant à l'extrémité des chevalets qui arrêtaient les roues. Quand la coupe horizontale fut terminée, on plaça de grosses planches sous les roues pour augmenter l'élévation.

20 décembre 1860 (suite des deux jours précédents).

On tira 8 coups pendant 1 heure, du 100ᵉ au 107ᵉ. Ce dernier ouvrit la brèche. Tous les projectiles éclatèrent. La pièce et son affût étaient intacts. On évita l'esplanade à la région du bouton de culasse. On tira avec une élévation de 25 degrés. Durée du feu, 10 heures.

II.

CANONS RAYÉS DE 12 CENTIMÈTRES.

Distance de la batterie au mur : 60 mètres. Charge : 1 kilog. 7. Poids du projectile : 0 kilog. 5. Recul moyen : 8 mètres. Pénétration moyenne du projectile : 0 m. 4. Baromètre : 70,85. Thermomètre : 1° à 2° 60′ au-dessous de zéro. Hygromètre : 75.

18 décembre 1860.

L'épreuve se borna à 27 coups : sur 27 projectiles, 24 crevèrent; 3 restèrent entiers. Les 2 pièces avaient déjà servi auparavant. On se servit alternativement de fusées de Trubia et de Séville. Nul dommage ni au mur, ni à la pièce ni à son affût. Le feu dura 1 1/2 heure. On pointa avec le fronton de mire. On tira à 13 degrés d'élévation pour la coupe horizontale. On suspendit le feu, parce que la bombe avait crevé dans la bouche de l'une des pièces au moment où on la chargeait d'une bombe à fusée de Séville ; cet accident était probablement dû à un coup qu'avait reçu la bombe, parce que le refouloir n'avait pas été cintré au commencement du bourrage, et que peut-être la clavette était trop

relâchée. L'explosion brisa une poutre du blindage qui s'écroula, ce qui mit la batterie hors de service. Les esplanades étaient couvertes de neige, les reculs étaient excessivement grands, parce que les deux roues de chaque affût s'enrayaient avec un tirant de manœuvre aux anses de la queue d'oie.

19 décembre 1860 (suite de l'expérience du 18 décembre).

Pendant les 3 heures que l'épreuve dura, on lança 32 coups avec la fusée de Trubia. Tous les projectiles crevèrent ; nul dégât ni au mur, ni au canon, ni à l'affût. Le canon de droite, l'*Amphiloque*, présenta, par l'effet de la bombe qui creva dans la bouche, deux grandes écorchures, l'une qui partait du plan de la bouche, l'autre qui se trouvait sous l'astragale. On les rogna en partie avec un coupoir et l'on continua à faire feu de cette pièce, en diminuant dans la mesure nécessaire les mamelons des projectiles. Le canon *Anax* subit un peu d'engourdissement sous l'anse.

20 décembre 1850 (suite des deux jours précédents).

Pendant 4 heures de feu, on tira 114 coups qui crevèrent, avec la fusée de Trubia, déchargée une

fois. Sur 55 projectiles, 1 seul resta entier, 2 étaient douteux. Le 82° projectile traversa le mur ; le 114° coup acheva la coupe horizontale. Au 94° coup le projectile s'arrêta dans la bouche ; on déchargea et on l'introduisit par 2 forts coups de refouloir. Nul trace de dommage ni au canon ni à l'affût.

21 décembre 1860 (suite des expériences des trois jours précédents).

L'épreuve de ce jour commença par le 115° coup et se termina par le 196°. L'engourdissement du premier corps ayant augmenté dans le canon l'[illegible], et un autre engourdissement étant déjà survenu au second, on évita l'inconvénient qui en résultait, en mettant un coin dans les deux pièces. Sur 82 coups, 66 furent tirés avec la fusée de Trubia, et 16 à bombe déchargée. Tous les projectiles sans exception crevèrent. La durée du feu fut de 4 1/2 heures. Au 117° coup, un débris ouvrit la porte et pénétra dans la batterie, mais sans causer aucun dégât. Ni le mur, ni la pièce, ni son affût n'éprouvèrent de dommage.

22 décembre 1862 (suite des quatre jours précédents).

26 coups commençant pas 197 et finissant per 222 furent tirés, tous à bombe vide ; tous

les projectiles se brisèrent, à l'exception de deux qui restèrent entiers. On n'aperçut aucun dommage ni à la pièce ni à son affût. La brèche fut ouverte par les 26 coups. Au 203e coup, on ôta l'esplanade à la région du bouton de culasse pour augmenter l'élévation. La plus grande élévation était de 22°. Dans plusieurs cas, on vit la partie ogivale du projectile incrustée dans le mur où il avait crevé. L'effet des projectiles chargés fut plus grand que celui des projectiles déchargés. Le temps employé pour communiquer le feu par la fusée à la charge intérieure fut plus long que celui de la pénétration, et, à quelques coups, les bombes crevèrent après avoir rebondi du mur. La durée du feu fut de 15 heures.

III

GROS CANONS DE 8 CENTIMÈTRES.

Distance de la batterie au mur : 60 mètres. Charge de la pièce : 0 kilogr. 6. Poids du projectile : 0 kilogr. 12. Recul moyen : 4 mètres. Pénétration moyenne du projectile : 0m, 17. Baromètre : 70c, 85c. Thermomètre : 2°,60. Hygromètre : 76°.

18 décembre 1860.

On ne tira que deux coups à la fusée de Trubia ;

les projectiles crevèrent. On pointa avec le fronton de mire qui égalait les diamètres de la culasse et de la mardelle. On tira avec une élévation de 12 degrés. Nulle trace de dommage au mur, ni à la pièce, ni à son affût.

19 décembre 1860 (suite de l'épreuve du 18 décembre).

On tira, pendant 3 heures, à la fusée de Trubia, une série de 86 coups, commençant par 3 et finissant par 88. Tous les projectiles crevèrent, à l'exception d'un seul qui resta entier. La première pièce n'avait pas fait feu avant les épreuves : la seconde avait déjà fonctionné. Aucun dommage ni au mur, ni à la pièce, ni à son affût.

20 décembre 1860 (suite des épreuves des deux jours précédents).

Pendant 4 heures 1/2, on déchargea 154 coups à la fusée de Trubia, par une série commençant à 89 et finissant à 242. 152 projectiles crevèrent, 1 fut brisé et 1 demeura entier. Au 117e coup, un éclat de bombe ouvrit la porte et pénétra dans la batterie sans y produire de dégât. Du reste, nulle

trace de dommage ni au mur, ni à la pièce, ni à l'affût.

21 décembre 1860 (suite des épreuves des trois jours précédents).

On tira, pendant 3 heures, 35 coups à la fusée de Trubia. Une série de 35 coups, commençant par 243 et finissant par 277. Tous les projectiles crevèrent, à l'exception de deux, dont l'un se brisa et l'autre resta entier. Au dernier coup, la coupe horizontale présentait une profondeur qui variait entre $1^m,5$ et $2^m,0$. Les pièces et leurs affûts étaient intacts et le chargement s'opérait sans aucun engourdissement. On ne continua pas le feu ultérieurement, parce qu'un éclat était tombé dans la ville, et que l'on était autorisé à conclure du résultat obtenu qu'on pouvait ouvrir la brèche avec la pièce employée.

On trouva quelques éclats de bombe incrustés dans le mur, provenant du projectile crevé.

Les bombes crevaient après pénétration entière.

Total du temps employé pendant les quatre jours : 11 heures.

Résumé des épreuves.

	Can. de 24.	Can. de 12.	Can. de 8.
Longueur de la brèche	10m,00	10m,00	10m,00
Epaisseur du mur à la partie inférieure. .	3m,00	3m,00	3m,00
Epaisseur du mur à la partie supérieure.	2m,50	2m,50	2m,50
Hauteur moyenne du mur.	8m,00	7m,10	8m,26
Hauteur du terrain au-dessus de la coupe horizontale à la partie intérieure à l'extrême gauche.	0m,30	2m,80	»
Même hauteur à l'extrême droite. . . .	0m,70	»	»
Nombre des coups. .	107,00	222,00	227,00
Projectiles brisés qui ont été lancés. . .	102,00	3,00	»
Projectiles lancés avec la fusée de percussion de Trubia et ayant crevé. . . .	»	164,00	272,00
Projectiles lancés avec la fusée de Séville et ayant crevé. . .	»	12,00	»

	Can. de 24.	Can. de 12.	Can. de 8.
Projectiles qui ont crevé avec la fusée de Trubia.	»	4,00	3,00
Projectiles qui ont crevé avec la fusée de Séville.	»	1,00	»
Projectiles chargés qui se sont brisés.	»	»	2,00
Projectiles non chargés qui sont restés entiers	5,00	38,00	»
Nombre des projectiles non chargés qui ont été lancés. . .	107,00	41,00	»
Nombre des projectiles chargés avec la fusée de Trubia. .	»	168,00	277,00
Nombre des projectiles chargés avec la fusée de Séville. .	»	13,00	»
Nombre des coups employés pour traverser le mur. . .	56,00	82,00	»
Nombre des coups employés pour achever la coupe horizontale. . . .	80,00	114,00	»

	Can. de 24.	Can. de 12.	Can. de 8.
Nombre des coups lancés aux coupes verticales.	27,00	108,00	»
Nombre des coupes horizontales. . . .	1,00	1,00	1,00
Nombre des coupes verticales.	2,00	2,00	»
Temps employé à ouvrir la brèche. . .	10 h.	15 h.	»
Vitesse du feu vif par heure et par pièce, coups.	15,00	30,00	45,00
Temps employé, dans le cas précédent, avec le nombre de coups tirés. . . .	3,5 h.	3,7 h.	»
Charge de la pièce.	6^{k},03	1^{k},7	0^{k},6
Charge du projectile.	»	0^{k},5	0^{k},12
Poids du projectile.	11^{k},84	11^{k},67	4^{k},32
Poids total de la poudre employée, y compris l'intérieur du projectile. . .	645^{k}	468^{k}	195^{k}
Poids total du fer employé	1267^{k}	2591^{k}	1175^{k}

	Can. de 24.	Can. de 12.	Can. de 8.
Angle d'élévation pour la coupe horizontale	10°	13°	12°
Angle d'élévation à l'extrémité de la verticale	25°	22°	»
Angle d'incidence à l'extrémité de la verticale	65°	65°	65°
Distance au mur. .	60m	60m	60m
Pénétration moyenne du projectile . . .	0m,3	0m,3	0m,17
Nombre des pièces employées.	2	2	2

Les grenades crevaient en général après avoir acquis toute leur pénétration. A plusieurs coups, la partie ogivale du projectile crevé s'incrusta dans le mur.

Le feu s'exécuta avec beaucoup de lenteur, pour laisser, à chaque coup, aux servants le temps de se mettre à couvert des blindages.

On conclut du fait qu'on pouvait ouvrir la brèche avec les pièces de 0m,08; car, par les 277 coups tirés avec ces pièces on acquit une profondeur variable de 1m,5 à 2m,5, c'est-à-dire une profondeur pres-

que totale dans quelques points : c'est ce qui permet de conclure qu'il faut 800 coups pour achever la brèche, eu égard au résultat obtenu avec les pièces de 0m,12

La pénétration obtenue avec la grenade ogivale de 0m,12 est plus grande que celle qui est obtenue avec le boulet de la pièce de 24. L'effet de la commotion de la seconde est plus grand que celui de la première. C'est ainsi qu'il a fallu 34 coups de plus de boulet de la pièce de 24 pour achever la coupe horizontale, augmentation qui doit être attribuée, du moins en partie, à l'élévation de 2m,8 du terrain à la partie intérieure et extrême gauche de la même coupe horizontale ; l'augmentation aux coupes verticales a été de 81, et, en suivant la même proportion qu'aux coupes horizontales, l'augmentation ne doit être que de 12. De là, il est permis de conclure que cette grande différence est due en premier lieu au tir de 41 coups avec des grenades non chargées et à la commotion moindre qu'elles produisent. Cette différence doit être évidemment moindre, lorsque le revêtement qui est battu, s'appuie à un terre-plein ou à un grand nombre de contre-forts, à la manière des revêtements modernes.

Les résultats obtenus au tir de brèche à Vincennes, en 1859, peuvent être résumés de la manière suivante :

Longueur de la brèche . . . . 10^m
Hauteur de la partie de revêtement qu'il s'agissait de battre. . . . . . . 7^m
Epaisseur du revêtement en maçonnerie. 3^m
Distance de la pièce au mur de revêtement . . . . 70^m
Nombre des pièces. 2
Nombre des coupes verticales. 2
Nombre des coupes horizontales. . . . 1

	Canon de 24.	Canon obusier de 12 rayé.	Obus de campagne rayé.
Temps employé . .	10 h.	5 h.	8 h.
Nombre de coups tirés.	304	304	792
Charge de la pièce. .	6^k	$1^k,2$	$0^k,350$
Charge intérieure du projectile.	»	$0^k,500$	$0^k,350$
Poids du fer du projectile	12^k	11^k	$3^k,7$
Poids total du fer employé.	$3,648^k$	$3,344^k$	$2,697^k$
Poids total de la poudre employée, y			

	Canon de 24.	Canon obusier de 12 rayé.	Obus de campagne rayé.
compris les charges intérieures. .	1,824k	517k	547k
Vitesse du feu par heure, nombre de coups	15	30	45

Les 2/3 au moins des boulets sphériques se brisèrent.

Aucune des grenades oblongues ne se brisa.

Les grenades oblongues produisirent toujours leur effet de pénétration avant d'éclater.

Les débris furent toujours lancés au loin, de sorte que les tranchées étaient toujours nettes.

Les fusées de cuivre adaptées à vis.

Le comité supérieur facultatif d'artillerie, qui avait été chargé des expériences relatées ci-dessus, fit au Ministre de la Guerre un rapport dont nous allons donner l'analyse.

Le comité fait d'abord observer que, pour pouvoir juger en connaissance de cause si l'artillerie rayée de 12 centimètres peut avantageusement se substituer à l'artillerie lisse de différents calibres, usitée jusqu'ici au siége des places fortes, il est nécessaire de considérer l'emploi qui se fait des deux espèces depuis le moment où un train se met

en mouvement pour aller faire le siége d'une place forte, depuis le moment où il quitte une autre place, un camp retranché ou la réserve principale d'une armée.

La première chose à remarquer, c'est l'économie qui, dans la préparation d'un train de siége, résulte de l'adoption des pièces rayées ; car il n'est pas nécessaire d'augmenter les moyens de conduite et le matériel est moins coûteux ; il faut un personnel moins nombreux pour le transport et le service. Par quatre journées de marche, la pièce de 12 rayée gagne une journée sur la pièce lisse de 24, et cet avantage s'obtient avec une différence notable dans la manière de vaincre les obstacles qui s'opposent à ces trains, quelle que soit la saison où le mouvement s'opère, quel que soit le chemin sur lequel il s'exécute. Arrivé en vue de la place qu'il s'agit d'assiéger avec un train de 12 rayé, on peut établir les premières batteries à des distances égales ou inégales, à volonté, sans que l'effet du tir soit compromis ; c'est là une conséquence forcée de la portée et de la justesse plus grande que possèdent ces pièces sur les pièces lisses des plus grands calibres : cet avantage se répète à chacune des parallèles que l'assiégeant est obligé d'établir.

Le feu d'artillerie rayée partant de batteries directes est, comparativement à celui de l'artillerie lisse, d'autant plus efficace contre les défenses, que ces batteries sont plus éloignées. En effet, il est prouvé d'une part, qu'à 60 mètres de distance et dans la même unité de temps, on obtient un ré-résultat identique avec les deux espèces d'artillerie ; d'autre part, que, la trajectoire parcourue par l'une et l'autre étant la même, les projectiles de l'artillerie rayée ont moins perdu de leur vitesse initiale. Il est donc évident qu'étant donnée la distance à masse égale et à vitesse comparative chaque fois plus grande, les pièces rayées sont préférables aux pièces lisses.

Arrivé devant la place, le matériel ne peut plus se mouvoir sur des chemins battus et fermes. Il s'ensuit que le transport d'une parallèle à une autre, principalement dans un terrain accidenté, est laborieux et pénible avec l'ancienne artillerie, de sorte, que pour l'ensemble des différentes batteries de siége, pour peu que le terrain ait été ramolli par la pluie ou durci par le froid intervenu après la neige, on peut, avec l'artillerie rayée, gagner un avantage de trois ou quatre jours.

Pour se faire une idée de l'importance des avan-

tages signalés jusqu'ici, il suffit de faire une supposition dont la justesse est frappante. Soit donc qu'au même moment deux trains d'artillerie, l'un de pièces lisses, l'autre de pièces de 12 rayées, partent de Madrid, en destination de deux places d'égale importance, également distantes de la capitale et séparées par des chemins et des obstacles égaux. L'analyse des différentes opérations qui devraient avoir lieu de part et d'autre ferait voir que l'une des deux places pourrait avoir capitulé avant que la place assiégée avec de l'artillerie lisse eût subi le moindre dommage à ses murs par les batteries de brèche qui n'auraient pas encore ouvert leur feu. Si à des avantages aussi considérables l'on ajoute l'importante économie, la diminution du personnel, et, surtout, la faculté d'entreprendre de semblables opérations dans une saison quelconque sans qu'il en résulte jamais le moindre inconvénient pour les plans du général en chef, on conviendra que les résultats, déjà importants par eux-mêmes, qui ont été obtenus à Molina, ne sont certainement pas petits en comparaison de ceux qu'on aurait obtenus avec de l'artillerie lisse et qu'on obtiendrait en général avec cette même artillerie au siége des places fortes.

Les résultats en question peuvent s'exprimer en peu de mots : une batterie de 12 rayée ouvre la brèche à un mur en même temps qu'une batterie lisse de calibre quelconque : les projectiles ogivaux ne se brisent au choc qu'à raison de 2 à 3 p. 100 ; et l'emploi des fusées de percussion est utile et indispensable.

Le premier point est également démontré par les expériences de Molina et par celles de Vincennes. Il est vrai qu'il n'y a pas égalité de temps entre Molina et Vincennes ; mais cette inégalité est due à des causes particulières exposées dans les documents français. D'un autre côté, elle était due à la crainte naturelle, au soin que mettaient les chefs à ce que le feu fût lent et exécuté avec toutes les précautions possibles — d'un autre côté, à cause du malheur qui était arrivé, — et au peu d'habitude des servants à manier le canon autrement qu'en se servant d'anspects et qu'en diminuant ainsi le nombre des coups qui auraient pu être tirés dans un temps donné.

La pratique, d'accord avec la théorie, a démontré aux expériences françaises et espagnoles que les projectiles ogivaux ne se brisent pas comme les ronds en donnant sur le mur, mais qu'ils y pénè-

trent, même dès que le feu commence contre le revêtement, assez pour que leur charge intérieure produise l'effet voulu, ce qui se confirma de la manière la plus évidente à Molina où l'on tira des projectiles vides dans le but, entre autres, de comparer le progrès de l'une des lignes verticales à laquelle le feu était dirigé de cette manière, tandis que l'on dirigeait des projectiles chargés sur l'autre ; comme on s'y attendait, le résultat prouva que les progrès de la destruction allaient croissant avec l'explosion de la charge intérieure.

La fusée de percussion dans toute batterie de siége directe, et surtout aux batteries de brèche, est indispensable ; mais l'effet utile maximum s'obtient quand le projectile a pénétré d'un peu plus que sa longueur, ni avant ni après, c'est-à-dire quand il crève à la faveur de l'emploi des fusées de percussion. Pour les fusées de *temps*, un grand nombre d'entr'elles ratèrent, un assez grand nombre de projectiles crevèrent, surtout au tir dirigé au terre-plein, après avoir pénétré profondément ; d'autres crevèrent après avoir rebondi sur le mur, crevaison qui, par conséquent, s'accomplit en plein air.

La Commission n'a pas exprimé son opinion sur

l'espèce de fusée de percussion qui mériterait la préférence ; elle s'est réservé de faire à cet égard un rapport spécial, fondé sur toutes les expériences exécutées dans ce but ; mais elle a cru devoir expliquer les causes qui, d'après elle, ont amené l'accident qu'on a eu à déplorer aux épreuves de Molina.

L'accident eut lieu à l'occasion de la crevaison d'un projectile de 12 centimètres, muni d'une fusée de percussion, système de la pyrotechnie de Séville.

Il n'était pas facile de deviner si le *passeur* n'était trempé avec excès, s'il n'était pas tombé à terre pendant le trajet depuis la réserve jusqu'à la pièce, ce qui peut arriver à raison de son ampleur, ou s'il n'était pas arrivé un autre accident qui a pu échapper à la Commission opérant sur un produit tout à fait nouveau.

Ce qui est certain, c'est qu'au moment où le projectile avait pris, dans l'âme de la pièce, sa position naturelle, au moment où le chef de la pièce avait enseigné la manière de l'introduire et de le conduire par l'âme, au moment enfin où le projectile n'avait pas encore eu le temps de faire même deux pas, on entendit la détonation, laquelle, d'après tous les indices et toutes les vérifications, fut

causée par le premier artilleur de gauche. Celui-ci donna un coup de refouloir sur la tête de la fusée lorsqu'il n'était passé que la moitié du projectile dans l'intérieur de l'âme : dans ces conditions, il est naturel de supposer que l'artilleur de droite qui le tenait empaumé de ses deux mains à cause de son poids, le laissa un peu tomber sur l'ouverture, ce qui fit que les mamelons antérieurs se soulevèrent au bord du goulot. On consomma quatorze projectiles de cette espèce ; la Commission, prenant acte de cet accident, ainsi que d'épreuves antérieures, recommande de n'en plus faire usage tant qu'il existerait des projectiles de l'autre système.

Se fondant sur les résultats obtenus, la Commission recommande au gouvernement de remplacer dans les trains de siége, les pièces lisses de 24 et de 16 et les obusiers courts de 21 centimètres par des pièces rayées de 12 centimètres, en refondant peu à peu tous les obusiers courts de bronze de 21 centimètres, anciens et modernes.

Elle appuie son avis sur sept considérations différentes : 1° économie de fabrication, de construction et d'entretien ; 2° conduite et transport plus faciles; 3° diminution du personnel servant ; 4° ef-

fet plus puissant produit par les batteries éloignées; 5° idendité d'effet produit par les batteries de brèche; 6° diminution du temps total employé aux opérations nécessaires pour rompre le feu; 7° diminution du retard auquel sont exposées les opérations générales des armées.

Des expériences auxquelles elle a présidé, la Commission conclut qu'avec la pièce rayée de 8 centimètres, on peut ouvrir la brèche dans un mur quelconque par 800 ou 900 coups, soit par 220 coups par pièce d'une batterie de 4 pièces.

Le temps employé sera tant soit peu plus grand; car il peut se faire que les murs et d'autres circonstances soient tels que les résultats soient un peu retardés; mais, dans tous les cas et malgré la préférence que mérite l'artillerie de 12, l'artillerie de campagne à elle seule suffit, en cas de nécessité absolue, contre toute défense de l'artillerie lisse employée encore aujourd'hui.

RÉSULTATS

DES

EXPÉRIENCES EXÉCUTÉES A WEST-POINT

(ÉTAT DE NEW-YORK)

AVEC DES BOUCHES A FEU DE GROS CALIBRE SUR DES CANONNIÈRES DE CASEMATES PENDANT LES ANNÉES 1852, 1853, 1854 ET 1855.

(Voir le numéro de janvier 1863, page 144.)

III.

PORTES DES CANONNIÈRES.

Malgré les grands avantages qu'on obtient en réduisant les dimensions des canonnières et en modifiant la forme des jouées extérieures, les servants des pièces n'en restent pas moins très-exposés au danger de l'explosion. En effet, dans l'espace d'une demi-heure de combat, ils pourront être atteints par 25, 46, 101 ou 198 projectiles, selon le calibre et l'espèce des pièces employés par l'ennemi. Il entre directement, par minute, de 1 à 6 projectiles dans l'espace où sont groupés les artilleurs. Il s'en-

suit que leur service est très-périlleux et qu'ils peuvent à peine remplir leurs fonctions.

Ce sont ces réflexions qui nous conduisent à parler des expériences faites sur les portes : de celles-ci nous inférons que, les plaques dont les portes sont formées ayant 2 pouces ($0^m,05$) d'épaisseur, il y aura résistance assurée contre les différentes espèces de mitraille.

Un coup de mitraille avec un projectile pesant 45 livres (16,784 gr.) lancé par un canon de 8 pouces ($0^m,202$) à la distance de 200 yards (183 m.) contre une porte de 1,5 pouces ($0^m,038$) composée de 3 plaques d'un demi-pouce ($0^m,012$), ne produit pas le moindre dégât. Les axes et les boutons de sujétion disposés dans toute leur simplicité restent soustraits à l'action de la mitraille.

Les portes doivent être fermées depuis le moment de l'explosion jusqu'au retour du chargement ; pendant ce temps, le canon reste en disposition de faire feu de nouveau ; de cette manière le temps pendant lequel les artilleurs sont exposés au danger des projectiles se trouve très-réduit.

Il n'est pas possible d'assurer positivement que les portes se ferment d'elles-mêmes immédiatement après l'explosion ; car les expériences améri-

caines n'ont pas porté sur des portes perfectionnées en suite de défauts reconnus à des expériences antérieures. Mais la tendance à se fermer est si manifeste et s'est produité d'une manière tellement invariable qu'il ne doit pas y avoir de doute que, bien centrées, elles ne se ferment immédiatement d'elles-mêmes.

Ce résultat est aussi désirable que précieux ; car, grâce à la rapidité de mouvements spontanés, non-seulement les artilleurs sont couverts, mais encore la fumée est exclue. La même réaction d'air qui tend à fermer les portes, contribue, en l'absence de porte, à introduire dans la casemate une grande partie de la fumée résultant de l'explosion.

Dans tout le cours des expériences américaines, on ouvrait les portes à la main après chaque coup parti, ayant soin de les rapprocher parfaitement aux jouées. Cette opération peut se faire sans gêne ni difficulté, quand les portes sont bien suspendues ; mais il est besoin de s'assurer avec soin qu'il ne reste aucun vide entre elles et la jouée, de peur qu'elles ne soient forcées par le souffle de la pièce et ne se disjoignent. Cet accident peut être évité par un ressort qui les maintienne contre la jouée ;

mais, en les centrant bien, on échappe à toute difficulté.

IV.

DIMENSIONS DE LA GORGE DE LA CANONNIÈRE.

Il importait aussi beaucoup de vérifier pratiquement si l'on pourrait réduire la largeur du col de la canonnière.

Dans ce but, on a fait quelques expériences sous la direction du major G.-G. Barnard du corps des ingénieurs, chef de l'académie militaire.

On voulait avoir quelques données sur ce qu'on appelle ordinairement le *cône du souffle* : si les limites de ce cône étaient très-rapprochées de la bouche de la pièce, et jusqu'à quel point on pourrait rapprocher les arêtes des plaques de la gorge.

Le résumé de ces expériences a été donné plus haut et l'étude en est très-intéressante.

Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :

Le cône va rapidement divergeant à partir de la bouche de la pièce; l'intensité dans les limites de l'action est excessivement violente : on ne peut placer entre les limites que des matériaux très-ré-

ristants et solidement enclavés ; enfin, les alentours immédiats de la bouche de la pièce jusqu'aux plaques qui entouraient la gorge, furent détruits par le souffle. Mais, d'autre part, il est évident que, si une plaque de 8 pouces ($0^m,203$) solidement fixée à la maçonnerie et placée à la même distance de la bouche et du prolongement de l'âme de la pièce a subi un dégât considérable, tout autre matériel de moindre résistance subirait un dégât incomparablement plus grand. De plus, il est hors de doute que, plus l'arête de la plaque s'avance sur le plan de la bouche, plus elle se rapprochera du prolongement de l'âme.

V.

ÉPAISSEUR DU MUR DE FRONT.

Les dispositions intérieures de la casemate relativement au maniement du canon, et surtout à raison de ses positions obliques ; l'endroit choisi pour le placement de l'axe de rotation ; la forme et les dimensions de la pièce et son affût, y compris le cadre, imposent au génie des conditions particulières relativement à l'épaisseur du mur aux environs

immédiats de la canonnière, conditions qui affectent la forme de celle-ci.

L'épaisseur de 5 pieds ($1^m,52$) donnée aux constructions américaines paraît suffire dans une mesure convenable à toutes ces conditions. Cependant, à raison de l'augmentation croissante des calibres pour les armements de mer, l'artillerie américaine a jugé à propos de s'assurer si l'épaisseur en question était suffisante. Plusieurs expériences ont été faites dans ce sens sur le second but : la pièce employée était le canon-obusier de 10 pouces ($0^m,25$), qui fut placé à 114 yards, chargé d'un boulet plein de 128 livres ($47,769^{gr},6$) avec une charge de 18 livres ($9,717^{gr},6$) de poudre.

Le résultat général obtenu démontre que la partie de mur de 5 pieds d'épaisseur qui entoure la canonnière, doit être limitée à ce qui est strictement nécessaire pour le service de la pièce sur son affût.

L'épaisseur de 5 pieds sera suffisante pour produire une résistance aux coups successifs portés sur ce point, à condition que le mur, à droite et à gauche, en haut et en bas, soit lié à des renforts de 2, 3, ou 5 pieds ($0^m,609$, $0^m,914$ ou $1^m,52$) d'épaisseur. Si le mur n'avait pas, sur toute son éten-

due, plus de 5 pieds d'épaisseur ; si, en outre, il n'avait que des renforts proportionnés aux 5 pieds en question placés à 15 pieds (1^m,52) de distance, ce mur ne tarderait pas à être détruit par les batteries de ce calibre.

Les plaques de fer forgé de 8 pouces d'épaisseur, placées à la canonnière et appuyées de 3 pieds de bonne maçonnerie, équivalent, sous le rapport de la résistance, aux 5 pieds d'épaisseur de mur, et, à raison du peu de frais qui en résulterait, il conviendrait de prolonger la plaque en question dans tous les sens, selon la mesure de la nécessité d'assurer le service de la pièce. Mais l'excès de dépense ne serait pas compensé du tout, dans l'état actuel de la question, par les avantages qu'on en recueillerait. Dans ce cas, l'ouverture du col de la canonnière serait égale à l'ouverture extérieure, parce que la gorge en question pourrait être placée dans ce parement. La surface de 3,9 pieds carrés que nous avons déjà plusieurs fois comparée avec celle de la canonnière européenne de 54 pieds carrés, assurerait certainement de grands avantages; mais, comparée avec celle du second but américain, elle se trouverait ne présenter que 4 pieds carrés de différence, et il n'en résulterait pas même

l'avantage de l'interception des projectiles ; car, comme nous avons vu, les jouées modifiées des canonnières américaines les arrêtent suffisamment, en réduisant le passage à la surface de la gorge seulement.

Si la dépense n'était pas aussi forte, il conviendrait de revêtir toute l'escarpe de fer, ou même de la construire en entier de ce matériel ; mais tant qu'il n'y aura pas de raisons plus fortes que celles qui existent aujourd'hui pour croire que les volées des bâtiments de mer puissent ouvrir des brèches aux escarpes de maçonnerie solidement construites des batteries (américaines), il faut s'en tenir à la construction la plus économique, d'autant plus que, si une semblable nécessité se déclarait, on aurait toujours le temps de les revêtir extérieurement de plaques de fer.

En résumé, on peut, en toute sécurité, ne donner au mur d'escarpe qu'une épaisseur de 5 pieds, pourvu qu'on se borne à la partie strictement nécessaire pour le service de la pièce et qu'on ait soin de l'augmenter jusqu'à 8 pieds pour toute l'étendue restante. L'étendue qui se rapporte aux 5 pieds ci-dessus est si petite, qu'on peut la consi-

dérer comme soutenue par celle de l'épaisseur plus grande qui l'entoure.

Dans le cours des expériences américaines il se produisit un cas très-intéressant sous le rapport de l'épaisseur de l'escarpe aux alentours immédiats de la canonnière, le voici : un projectile de 24 donna sur le parement extérieur, juste au point qui correspondait à l'ouverture faite par derrière pour recevoir l'aiguille ou flèche du cadre qui se prolongeait jusqu'à 2 pieds du parement; le projectile traversa l'épaisseur de 2 pieds, et, son diamètre étant moindre que la section de l'ouverture dont il s'agit, la traversa sans toucher aux murailles. Si la pièce eût été placée avec son cadre et le bouton correspondant, nul doute qu'elle n'eût été brisée et que le cadre n'eût été mis hors de service pour quelque temps. L'élévation de cette entrée était de 7 pouces : la moitié de cette élévation est suffisante ; on peut, en outre, plaquer dans la maçonnerie une épaisse lame de fer forgé en face du bouton pour arrêter ces projectiles ou d'autres d'un plus grand calibre.

VI.

EFFETS PRODUITS SUR LES BATIMENTS DE MER PAR DES PROJECTILES LANCÉS DES CASEMATES.

Les expériences américaines, tant celles d'assiégeant à assiégé, que celles d'assiégé à assiégeant, ont fourni quelques données sur la nécessité de prendre des mesures de précaution pour donner plus de sécurité au service des pièces dans les casemates. Les résultats obtenus sont aussi instructifs sur la puissance offensive que possèdent les batteries casematées considérées spécialement sous le rapport des effets de la mitraille contre les bâtiments de mer. Soit, pour mieux éclaircir notre pensée, une batterie casematée présentant la même étendue de but qu'un navire de 100 canons, c'est-à-dire une surface de 6,000 pieds carrés (558^{mq}); admettons qu'elle soit composée de 24 bouches à feu. Supposons que ces pièces soient du calibre de 32 et qu'elles lancent de la mitraille de 1,05 pouce (0^{m}265) de diamètre, soit 156 projectiles par décharge. Chaque canon jouant, comme nous avons dit plus haut, 10 fois par demi-heure, et la moitié des coups étant supposée tomber sur le navire, il

viendra trois projectiles pour chaque pied carré de superficie : les portes ont 3 pieds × 3,5 pieds = 10,5 pieds carrés (98^{dc}) ; il y aura donc 31 projectiles pour chaque porte, et 1,550 pour 50 portes.

Si la mitraille était de balles de fusil, il y aurait 126 projectiles par porte, et 6,300 par 50 portes.

Supposant que les pièces aient 8 pouces (0^{m},203) de diamètre, calibre de l'armement ordinaire des grandes batteries américaines, on trouvera que le nombre des projectiles de 1,05 pouce serait de 52 par porte et de 2,600 par 50 portes.

Si les mêmes pièces lancent de la mitraille de balles de fusil, il en entrera 252 par chaque porte et les 50 portes en auraient 12,600 par demi-heure.

Le tableau suivant donne un extrait des effets principaux produits par des coups de mitraille de différentes espèces, sur les divers genres de canonnières et portes de navires, dans la supposition qu'un navire de 100 canons soutienne le combat pendant l'espace d'une demi-heure contre une batterie casematée de 24 pièces.

	NOMBRE des projectiles entrant dans chaque canonnière en particulier.		NOMBRE des projectiles entrant dans toutes les canonnières réunies.		NOMBRE des projectiles entrant par chaque porte en particulier.		NOMBRE des projectiles entrant dans toutes les portes réunies.	
	Balles de fusil.	Mitraille de 1,05 pouce.	Balles de fusil.	Mitraille de 1,05 pouce.	Balles de fusil.	Mitraille de 1,05 pouce.	Balles de fusil.	Mitraille de 1,05 pouce.
Calibre de 32 livres.								
Canonnière de 54 pieds carrés. . .	1404	351	33696	8424	»	»	»	»
Canonnière à jouées planes.	231	58	5544	1392	»	»	»	»
Canonnière en crémaillère.	101	25	2424	600	»	»	»	»
Canonnière avec portes (1).	10	3	240	72	»	»	»	»
Dans les portes des navires.	»	»	»	»	126	21	6300	1550
Calibre de 8 pouces.								
Canonnière de 54 pieds carrés . . .	2754	648	66096	»	»	»	»	»
Canonnière à jouées planes.	453	106	10872	»	»	»	»	»
Canonnière en crémaillère.	198	46	4752	»	»	»	»	»
Canonnière avec portes.	20	5	480	»	»	»	»	»
Dans les portes des navires.	»	»	»	»	252	52	12600	2600

(1) On suppose qu'il n'entre par les portes que 1/[illegible] des projectiles qui les frappent

En examinant attentivement le tableau qui précède, on apercevra avec surprise la grande quantité de ces petits, mais terribles projectiles qui compromettent la vie des artilleurs-servants, même avec les canonnières réduites des Américains du Nord.

La nécessité de diminuer le nombre de ces coups périlleux par la modification des jouées et par l'aménagement de portes qui en annulent les effets, est donc impérieusement établie.

Il est, en effet, difficile de comprendre que le service d'une batterie casematée à grandes canonnières soit possible, quand un navire s'est embossé à petite distance et a ouvert sur elle le feu de mitraille. Si le navire lance, non pas de grosse mitraille, mais la menue mitraille de balles de fusil, il fera entrer, d'après le tableau ci-dessus, dans l'espace d'une demi-heure de feu, par les 24 canonnières ayant 54 pieds carrés de surface, avec un canon de 32, *au moins* 33,696 *projectiles*, ou 1,404 par chaque canonnière.

Si l'on considère la batterie lançant la même espèce de projectiles contre le navire, on trouvera que tous les avantages sont du côté de celui-ci; car, en échange de 1,404 projectiles qu'elle reçoit,

chaque canonnière ne peut en jeter que 126 par chaque porte, et par 50 portes que 6,300 contre 33,696 qu'elle reçoit.

Toutefois, grâce aux réductions faites à la surface de l'ouverture extérieure de la canonnière, les proportions vont augmentant successivement en faveur de la batterie casematée, jusqu'à lui assurer un avantage décidé sur le navire. Avec les canonnières du second but américain, pour les 6,300 projectiles que la batterie casematée fait entrer dans le vaisseau par ses 50 portes, elle ne recevra que 5,544 par ses 24 canonnières. Si les jouées sont coupées en crémaillère, le nombre des projectiles entrants se réduira à 2,424 ; et si, en outre, on fait usage des portes, pour 6,300 projectiles que reçoit le navire, la batterie casematée n'en recevra dans son intérieur que 240.

La batterie en question gagnera, par son feu de mitraille, une telle supériorité, surtout en employant des pièces de 8 pouces, qu'au bout de peu de temps le navire se verra dans la nécessité de renoncer à l'attaque, ou de se munir de portes analogues à celles de la canonnière casematée.

Pour donner plus de force démonstrative aux calculs ci-dessus et prévenir tout soupçon d'exa-

nération, nous faisons remarquer que le nombre des projectiles entrés aux expériences américaines par la canonnière n° 9, sans toucher aux murs, s'est élevé à 240 sur une surface de 8,9 pieds (36 c. c.); et, comme il a été dit plus haut, la totalité des coups de mitraille qui furent dirigés sur le but en question, n'est que l'équivalent d'une volée de 50 canons placés d'un côté de navire.

VII.

COMBAT ENTRE BATIMENTS DE MER.

L'application des calculs que nous avons faits plus haut aux combats des navires de guerre entre eux, ne peut guère être révoquée en doute. Les relations navales signalent souvent le fait suivant : des navires sont restés des heures entières l'*encorcelure des vergues brouillée*, éprouvant ainsi des pertes énormes comparativement à la durée de l'inaction et à la proximité du feu ennemi : cependant les navires n'ont pas été coulés bas, ni n'ont été détruits, ni incendiés ; et, quoique désarborés ou démâtés, désagréés complètement, ils ont fait ensuite de longues courses, sans autres réparations que celles du moment. Sans chercher à ap-

profondir les causes d'un phénomène aussi étrange, nous dirons que, si c'est faute de pointement qu'on n'a pas obtenu des effets plus décisifs, cette raison n'est pas au même degré applicable à la mitraille; car il suffit de pointer sur une étendue quelconque de la coque pour que le cône de mitraille envahisse le côté.

Il est, en vérité, difficile de concevoir qu'un navire qui, pendant l'espace d'une heure, a reçu par ses cinquante portes plus de 25,000 projectiles, ou 500 par chaque porte, puisse victorieusement soutenir le feu pendant ce temps.

Dans ce cas, il conviendrait peut-être de réduire beaucoup la charge de poudre, pour ne pas endommager la pièce, et de la charger d'une bombe à mitraille. La bombe aurait la force nécessaire pour porter des atteintes sensibles à la machine, et la mitraille, à une si petite distance, en aurait elle-même assez pour pénétrer dans le flanc et pour causer de grands ravages par son explosion.

VIII.

HISTORIQUE DES DIFFÉRENTES CANONNIÈRES USITÉES AUX BATTERIES DE CÔTES DES ÉTATS-UNIS.

La première batterie casematée, construite dans

les États-Unis, date de 1808. Elle avait deux rangs de casemates, au-dessus desquelles était une batterie à barbette. L'ouverture extérieure des casemates du bas étage était de 4 pieds 8 pouces × 6 pieds = 28 pieds carrés, et celle des casemates supérieures était de 3 pieds 8 pouces × 5 pieds = 18,33 pieds carrés. L'amplitude de l'angle de tir était de 44 degrés.

Trois ou quatre ans après la construction de celle-ci, on éleva deux autres batteries à un seul ordre de casemates : l'ouverture extérieure des canonnières était de 4 pieds 5 pouces × par 5 pieds = 22 pieds carrés. L'amplitude de l'angle de tir était dans l'une de 42 degrés, et dans l'autre de 45 degrés.

En 1815, Jos. G. Totten, officier distingué du corps des ingénieurs, fut chargé de rédiger le plan de défense d'un canal important. S'étant convaincu, pendant l'exécution des batteries dont nous venons de parler et dont la direction lui avait été confiée, que les principes qui avaient servi de base au tracé des premières étaient erronés, il fit une étude approfondie des conditions auxquelles ces batteries devaient satisfaire dans leur application à l'artillerie des grands calibres usités à cette époque.

Il résulta de ces études une canonnière dont l'ouverture extérieure avait 4 pieds de large sur 2 pieds 6 pouces de haut à la naissance de l'arc, et 3 pieds à la clef (fig. 41, Pl. V). Ces dimensions suffisaient pour toutes les dépressions et élévations que comportait l'affût, et l'amplitude de l'angle de tir était de 60 degrés. Couverte d'un linteau, au lieu d'un arc, la hauteur extérieure aurait eu un peu moins de 3 pieds.

Le plan de cette canonnière est représenté par la fig. 42, Pl. V. On voit que l'ouverture intérieure est de 5 pieds 6 pouces, et que le plan de la gorge est à 2 pieds de distance du parement extérieur du mur, lequel a 5 pieds d'épaisseur au point où est pratiquée la canonnière. Il a été fait à ces canonnières une légère modification, pour les appliquer aux flancs ou à la défense intérieure et les rendre propres d'abord à recevoir une caronnade qui, peu d'années après, fut remplacée par un obusier. Contre la fusillade, les jouées extérieures étaient en crémaillère, disposition connue longtemps auparavant.

Ce n'est qu'avec hésitation et timidité que le génie des Etats-Unis avança la gorge de la canonnière vers le parement extérieur, et les expériences

préliminaires faites au fort Monroe vinrent justifier les craintes qu'on avait conçues touchant les feux obliques ; pour les deux premières canonnières qui furent construites, on se servit de mortier de chaux commune ; elles ne tardèrent pas à être détruites par le souffle de la pièce. Une autre canonnière, construite depuis en brique et en mortier de cément, supporta, sans souffrir aucun dommage, des centaines de coups.

Ces derniers résultats se sont confirmés pour toutes les canonnières qui, en Amérique, ont été soumises à des expériences. Ces mêmes canonnières, à de très-légères modifications près, ont été pratiquées pour toutes les batteries construites depuis 1815.

Tel était l'état de la question, lorsque l'augmentation de calibre pour l'armement des bâtiments de mer, augmentation qui s'est réalisée dans une période de temps relativement très-court, a conduit à augmenter les moyens de résistance.

Les Américains ont cru pouvoir obtenir ce résultat en réduisant l'ouverture et en mettant un matériel plus résistant là où la forme de la canonnière force à diminuer l'épaisseur des maçonneries.

Les expériences décrites plus haut confirment pleinement ces idées, et le génie de l'Union-Américaine était mis en demeure de se conformer désormais aux données acquises dans la construction et la modification des casemates.

LES DÉFENSES FIXES

ET LES

DÉFENSES MOBILES DES COTES DE L'ANGLETERRE,

par M. DE LA FRUSTON.

Une commission officielle composée de : Harry D. Jones, lieutenant-général *président*; Georges Elliot, contre-amiral, F. Abbot, major-général; A. Cooper Key, capitaine de vaisseau; J.-H. Lefroy, colonel d'artillerie; J. Fergusson; Rich. Collinson, capitaine de vaisseau; J. Saint-Georges, colonel d'artillerie; W. S. Wiseman, capitaine de vaisseau. H. D. Harness, colonel du génie; W. F. Drumond Jervois, lieutenant-colonel du génie, secrétaire, avait été chargée en 1862 de faire une enquête sur la défense des côtes de l'Angleterre. Cette commission a fait, le 20 mai dernier, son rapport au secrétaire d'Etat de la guerre, et, depuis, ses procès-verbeaux ont été soumis au Parlement qui les a discutés dans plusieurs séances d'un grand intérêt militaire.

La question soumise à l'examen de la commission était celle-ci :

«*Les faits qui se sont passés, pendant le récent combat naval de Hampton-Roads, ont-ils amené la commission à modifier l'opinion exprimée par elle dans son rapport du* 26 *février* 1861 *sur la nécessité de construire des forts à Spithead, comme elle l'avait recommandé dans un précédent rapport du* 7 *février* 1860 ? »

A cette question, la commission fit la réponse suivante, que nous communiquons sous une forme analytique.

En l'absence de tout renseignement précis sur la part prise, dans la lutte de Hampton-Roads, par les forts avoisinant le lieu du combat, la commission déclare ne pouvoir tirer de cet engagement aucune induction qui pût l'aider.

Elle déclare même incidemment que le combat livré dans le Mississipi entre les forts et les canonnières n'est pas plus concluant ; les récits de cet engagement ne lui paraissant pas suffisamment exacts (1).

(1) Nous communiquons ci-dessous l'extrait d'un rapport présenté au congrès américain, le 23 avril 1862, par la commission des affaires militaires de la Chambre des représentants des Etats du Nord.

La commission fait cependant remarquer que la présence des forts qui défendent l'entrée du fort de Norfolk, paraît avoir suffi pour empêcher le *Monitor* de poursuivre le *Merrimac*, lorsque ce dernier, en partie désemparé, se réfugia sous leur protection. Du reste, la prudence observée en cette occasion par le *Monitor* paraît avoir reçu l'entière approbation du secrétaire d'Etat de la marine des Etats-Unis. D'un autre côté, le *Monitor*, soutenu par le fort Monroe et la batterie Reip-Raps, placés à une distance de 200 yards l'un de l'autre, ont pu

« On pourrait probablement remédier, sans de trop grandes dépenses, aux défauts que de récents événements nous ont fait découvrir dans notre système actuel de défenses. Ce remède consisterait dans l'addition de nouveaux forts, qui seraient revêtus de plaques de fer ainsi que les forts actuels, et armés de pièces de gros calibre. A ces forts, il serait peut-être nécessaire d'ajouter des batteries flottantes cuirassées et des bateaux-béliers à vapeur ; en outre, au moment du danger, l'entrée de nos rades serait barrée par des radeaux ou fermée par des chaînes et des câbles. Les radeaux convenablement placés arrêteraient la marche des navires ennemis au moment où ils arriveraient devant le front des forts, et où ils seraient exposés au feu direct des canons de ceux-ci. Ainsi arrêtés, les navires devraient se retirer ou se laisser détruire, car il n'est guère probable qu'on puisse jamais donner à un bâtiment une force de résistance égale à celle d'une fortification de premier ordre. »

fermer le passage de la rade Hampton au *Merrimac* et compagnie.

En l'absence de renseignements détaillés et dignes de foi sur le mode de construction et l'armement des navires engagés dans la lutte, il est difficile de se rendre compte des résultats de cet engagement par rapport à la question soumise à la commission. Celle-ci pense donc qu'il est plus sûr de tirer ses conclusions pour établir l'effet des projectiles sur des navires cuirassés, des expériences exécutées en Angleterre, plutôt que des rapports incomplets qui ont été reçus sur le combat de Hampton-Roads.

Avant qu'il y eût eu un engagement entre deux navires cuirassés, on avait reconnu que ni le canon de 68 livres lisse, ni le canon rayé de 110 ne pouvaient sérieusement endommager la cuirasse du *Warrior*. Il était donc évident qu'à moins de construire une pièce d'artillerie de plus grande puissance, capable de pénétrer ou d'endommager un vaisseau cuirassé, l'effet des projectiles sur cette classe de navire, que ces projectiles partent d'un fort ou d'un bâtiment à flot, serait réduit aux dommages qui pourraient être produits par le tir convergent de plusieurs pièces sur un certain point du flanc

d'un navire, ou par un feu plongeant sur son pont, ou bien par un boulet qui frapperait le gouvernail ou l'hélice ou toute autre partie vulnérable.

Il n'est pas douteux que les rapports publiés dans les journaux sur les expériences de Shœburyness n'aient influé sur l'opinion qui s'est manifestée peu après sur le combat du *Merrimac* et du *Monitor* ; dans tous les cas, les doutes qui s'emparèrent de l'opinion publique au sujet de l'utilité des forts de Spithead, ne sont pas sans fondement aux yeux de la commission. Mais les expériences qui ont été faites avec le canon Armstrong du poids de 12 tonnes, c'est-à-dire d'un canon de 300 livres, contre la cible du Warrior quelques jours après les débats du parlement, ont matériellement changé les conditions de la question et justifié les prévisions consignées dans le rapport de la même commission du 25 février 1861. Il convient ici de remarquer que ce canon ne pourra lancer un projectile de ce poids qu'après avoir été rayé ; actuellement c'est un canon à âme lisse et le poids de son projectile sphérique est de 150 livres,

L'importance d'un fort augmente en proportion de la puissance de son artillerie. Il s'ensuit que si dans une rade dont un espace donné doit être

protégé, on parvient à placer des forts de manière que les feux combinés qui en partent, puissent causer des dommages sérieux à des navires ennemis placés dans un endroit quelconque de cette rade, ces forts seuls suffiront à sa défense.

Par contre, les forts perdront de leur importance à mesure que l'effet de l'artillerie sur les navires cuirassés diminuera. Si ces navires ne peuvent être désemparés par le feu direct de canon de gros calibre, le seul moyen de s'opposer à leur attaque serait de diriger contre eux un feu vertical, ou de les arrêter par des obstacles sous-marins ou flottants, ou bien de les aborder et de tâcher de s'en emparer, ou encore de leur opposer des défenses flottantes et supérieures en force et en vitesse.

Toutefois, il est évident qu'il y a une foule de cas où la position offre par elle-même des facilités de défense à l'aide d'un système combiné de forts et de batteries flottantes. Il faudra, dans les cas de cette espèce, déterminer la proportion à établir entre les défenses fixes et les défenses flottantes ; mais cette proportion ne pourra être obtenue que lorsqu'on se sera bien rendu compte de la force respective des unes et des autres ; afin qu'avec le moins de frais possible, on obtienne de ce système mixte,

la plus grande durée et la plus grande efficacité.

Quand les batteries sont tellement éloignées les unes des autres que leur tir ne peut embrasser tout l'espace qui les sépare, il ne convient pas d'en mesurer l'importance uniquement d'après leur degré de puissance à empêcher l'ennemi de prendre position en dedans de l'espace compris dans la portée de leurs canons ; car chacune des batteries peut couvrir de son feu les batteries flottantes, leur servir de point de ralliement et favoriser leur action contre l'ennemi.

Ainsi, dans l'éventualité d'une attaque dirigée par une force supérieure de bâtiments cuirassés, ces défenses flottantes ne seraient pas exposées à être écrasées par l'ennemi, comme cela aurait lieu si elles n'étaient pas soutenues ; car, restant sous le feu des forts, elles pourraient continuer sur l'ennemi, saisir un moment favorable pour concentrer leurs forces sur un point faible de sa ligne de bataille, le harceler et empêcher la retraite des bâtiments désemparés. Les mêmes éléments qui permettent à une force supérieure de terre soutenue par des forts de résister à l'attaque d'un ennemi supérieur, permettront également à une force maritime inférieure convenablement soutenue de

résister à l'attaque d'une flotte plus nombreuse. Dans le cours de sa première enquête, la commission avait reconnu que la rade de Spithead est une position à laquelle ces éléments sont particulièrement applicables. Aussi, dans son précédent rapport, la commission avait-elle recommandé de pourvoir à la défense de cette rade, au moyen d'une combinaison de forts et de batteries flottantes.

Cependant, dans le but de déterminer s'il n'y aurait pas lieu de modifier ses premières conclusions par suite des récents faits de mer, la commission a interrogé des officiers de marine et de l'armée de terre, dont les connaissances spéciales et la position donnent un grand poids aux opinions qu'ils ont exprimées. Plusieurs de ces officiers ont été d'avis que des batteries flottantes suffiraient à elles seules à la défense de Spithead.

Elle s'est adressée à sir William Armstrong, à M. Witworth et à d'autres personnes compétentes qui se livrent à la fabrication des canons, et elle leur a demandé s'il serait possible de produire des pièces d'artillerie plus puissantes que celles qui sont actuellement en usage.

La commission aurait aussi désiré interroger sir Morton Peto, qui avait publiquement exprimé son

opinion sur l'objet de son enquête ; mais ce personnage a demandé à n'être pas appelé devant la commission.

La plupart des témoins et autorités entendus sont tombés d'accord pour appuyer les conclusions de la commission, et un seul projet a été proposé pour la défense de Spithead, sans l'aide des forts. Voici en quoi consiste ce projet.

Une estacade flottante (boom) serait établie entre Horse-Land et Noman's-Land ; 12 bâtiments cuirassés, reliés ensemble par des chaînes, seraient mouillés en dedans de cette estacade, tandis que 12 ou 13 autres navires manœuvreraient au dehors et prendraient l'offensive contre l'ennemi.

La commission avait déjà examiné auparavant et avec soin la question de savoir si l'on ne pourrait pas se servir d'une estacade pour la défense de l'entrée de Spithead ; mais elle a reconnu que l'établissement d'un obstacle de ce genre assez large pour fermer le chenal, entraînerait une dépense considérable ; de plus, il ne lui a pas paru certain que cette estacade pût être maintenue efficacement en position.

En admettant même qu'un tel obstacle pût être établi au milieu du chenal, les vaisseaux ennemis

d'un tirant d'eau de 20 pieds anglais, en franchissant le Horse-Shoal à marée haute, pourraient facilement l'éviter; ils pourraient avec la même facilité éviter la ligne des navires mouillés en dedans. En outre, si l'ennemi était supérieur en force, ils pourraient, par une attaque de front, chasser les navires anglais de l'estacade et la détruire, opération qui deviendrait à peu près impossible, si l'estacade était soutenue à chaque extrémité par des forts. La commission est donc d'avis que, si l'idée d'une estacade venait à prévaloir, des forts seraient indispensables pour la protéger.

La commission appela aussi dans son sein le capitaine Coles qui voulait qu'on remplaçât les fortifications par des bâtiments cuirassés; mais on verra par ses dépositions que M. Coles n'a aucun projet précis à proposer; son avis se réduit à dire qu'en général les navires cuirassés sont préférables aux forts.

D'après l'opinion du capitaine Coles que la commission trouve fondée de tous points, la question dont elle s'occupait implique la nécessité d'étudier tout le système de défense du Royaume-Uni. La commission a trouvé qu'en somme sa déposition n'a apporté aucune lumière dans la ques-

tion. Il a déclaré que son opinion, quant à la valeur réelle des forts de Spithead, ne s'est nullement modifiée à la lecture des rapports sur le combat entre le *Monitor* et le *Merrimac*.

La commission remarque qu'elle a eu de la peine à obtenir de ceux qui proposent de défendre Spithead par des navires seulement, une réponse précise, sur le nombre de bâtiments qu'il faudrait affecter d'une manière permanente à cette défense. Les uns en proposèrent vingt, les autres vingt-cinq. Elle a donc pris vingt, comme le nombre de navires nécessaires pour remplacer le système des forts et des vaisseaux combinés.

La commission mentionne l'avis émis que ces bâtiments pourraient être obtenus par la transformation d'un certain nombre de vaisseaux de ligne en frégates cuirassées ; les auteurs de cette proposition prétendent que cette conversion serait moins coûteuse que la construction des forts. D'après les déclarations faites par sir F. Grey, premier lord de l'amirauté, et sir Robinson, contrôleur de la marine, déclaration soigneusement recueillie par la commission, il est fort douteux que ces vaisseaux pussent être appropriés avec avantage à la défense des ports, lors même que leur fort tirant d'eau ne

serait pas déjà un motif suffisant pour les faire rejeter pour cette destination spéciale. Ces officiers ont déclaré que, sur les soixante-huit vaisseaux de ligne de la flotte britannique, il n'y en a guère que trente-deux qui soient propres à être convertis en navires cuirassés. Sur ces trente-deux navires, cinq sont déjà en voie de transformation pour être ajoutés à la flotte de mer anglaise; cinq autres ont leur charpente terminée et peuvent recevoir la même destination. Quant aux vingt-deux autres vaisseaux, la commission, se fondant sur le témoignage de ces officiers, est d'avis qu'il ne serait nullement prudent de les transformer quant à présent. En outre, il lui paraît que ces vaisseaux une fois transformés, pourraient être ajoutés à la flotte anglaise de bâtiments cuirassés destinés à la grande navigation. Il n'y aurait donc pas lieu de compter sur cet appoint pour la défense des ports. Mais en admettant qu'ils pussent être utilisés à cette défense, ce serait pourvoir en réalité, d'après le sentiment de la commission, par le moyen d'un expédient temporaire, à cette partie des défenses nationales qui, selon la commission, doit reposer sur des bases permanentes. La commission se demande aussi s'il serait sage d'affecter de grosses sommes à

la transformation de bâtiments qui ne dureraient que dix ou quinze ans au plus et dont l'entretien annuel coûterait sept et demi pour cent de leur valeur; une fois qu'ils seraient hors d'état de servir, il faudrait les remplacer à grands frais.

La commission est donc d'avis qu'à moins d'une nécessité absolue, il ne conviendrait pas d'employer à la défense des rades des vaisseaux de bois convertis en bâtiments cuirassés.

Les navires en fer cuirassés coûteront, il est vrai, plus cher à construire; mais aussi ils nécessiteront moins d'entretien et n'auront probablement pas besoin d'être remplacés avant trente ans. De tels bâtiments, construits pour ce but spécial, grâce à leur léger tirant d'eau et à leurs autres qualités, conviendront bien mieux pour le genre de service qu'ils seront appelés à rendre, que des navires transformés.

Au surplus, que d'anciens vaisseaux soient transformés en frégates cuirassées ou que des bâtiments cuirassés soient construits à neuf, la dépense totale qu'entraînerait la défense de Spithead par des navires seuls, sans forts côtiers, excéderait de beaucoup la dépense des forts et des navires combinés.

En admettant même que la somme que la commission propose pour la construction des forts, serait suffisante pour obtenir le nombre de navires nécessaire à la défense de Spithead, il n'en est pas moins vrai, d'après la commission, que ces bâtiments devraient être remplacés tous les vingt-cinq ans, ce qui nécessiterait une dépense nouvelle périodique au moins égale à la première; les forts, au contraire, n'auront pas besoin d'être renouvelés et les frais d'entretien qu'ils nécessiteront, seront comparativement insignifiants.

Quant à l'estimation de la défense des ports, la commission renvoie à la déposition de Hawkshaw. Cet estimateur est d'avis que les fondations coûteraient plus de 280,000 livres sterling, chiffre primitivement fixé (1).

(1) D'après divers documents qui viennent d'être soumis au parlement anglais, les dépenses totales pour la construction des défenses nationales de l'Angleterre, s'élèveront à la somme de 5,680,000 livr. st. (142,000,000 de fr.). Sur cette somme 374,872 liv. st. seulement avaient été dépensées au 31 mars dernier; cette somme devait s'élever à 1,290,000 liv. st. au 31 juillet de cette année, et l'on comptait dépenser 1,200,000 liv. st. pendant l'année 1862-1863.

La somme totale de 5,680,000 liv. st. se répartit entre 8 stations, 22 districts et 71 localités.

Mais on a fait observer à la commission que les frais de construction hors de terre augmenteront considérablement, si les forts sont construits en fer au lieu de l'être en granit, avec des embrasures en fer, comme on l'avait d'abord proposé. La commission trouve que cette remarque ne serait juste qu'autant que l'on donnerait aux forts en fer les mêmes dimensions qu'aux forts en pierre; mais comme la substitution du fer à la pierre aurait pour conséquence de diminuer l'épaisseur des murailles, et, par suite, d'augmenter l'espace intérieur, il serait possible de réduire proportionnellement les dimensions des forts, de manière que la dépense des deux modes de construction fût en définitive à peu près la même.

En outre, par suite de l'augmentation du calibre des canons dont les forts seront armés, on pourra facilement en réduire le nombre, sans que l'efficacité des forts en soit diminuée. Enfin, l'em-

Voici les sommes qui leur sont respectivement affectées.

Portsmouth, 2,270,000,000 liv. st.; Plymouth, 1,210,000 liv. st.; Pembroke, 340,000 liv. st.; Portland, 340,000 liv. st.; Gravesend, 250,000 liv. st.; Sheerness et la rivière Medway, 340,000 liv. st.; Chatham, 500,000 liv. st.; Douvres, 250,000 liv. st.; Cork (Irlande), 160,000 liv. st.

ploi d'une machine hydraulique dans la manœuvre des canons donnera une grande facilité pour le pointage, et permettra de diminuer le nombre des servants de chaque pièce.

La commission appelle principalement l'attention du secrétaire d'Etat de la guerre sur la déposition de sir W. Armstrong, qui travaillait alors à la fabrication d'un canon du poids de 22 tonnes (22,352 kilogrammes), capable de lancer un boulet rond de 300 livres troy et qui, rayé, lancerait un projectile de 600 livres.

D'après l'opinion de sir W. Armstrong, ce boulet produirait sur la cuirasse du *Warior*, à une distance de 1,300 yards (1,205 mètres), le même effet qu'un boulet de 150 livres anglaises, lancé avec la pièce de 12 tonnes à une distance de 200 yards (184 mètres). Il pense en outre que, s'il parvient à rayer ce canon de 22 tonnes, l'effet produit dernièrement sur la cuirasse du *Warior* à 200 yards, pourra être obtenu à une distance de 3,000 yards (2,760 mètres).

Le président du comité de blindage a déclaré dans sa déposition que des plaques de 7 1/4 pouces d'épaisseur (18 centimètres environ), seraient

nécessaires pour résister au canon de 12 tonnes à 200 yards.

Tous ces calculs sont fondés sur de nombreuses expériences qui avaient été exécutées avant l'époque de la réunion de la commission dans le but d'apprécier la vitesse initiale des projectiles lancés par des canons rayés et lisses avec des charges de poudre différentes, et méritent par conséquent l'attention la plus sérieuse. Il résultait en effet des renseignements qui avaient été communiqués à la commission par le président du comité d'artillerie, que les effets auxquels nous venons de faire allusion avaient été produits par un boulet de 150 livres, doué d'une vitesse initiale de 1,624 pieds par seconde (493 mètres environ). En admettant que la force vive (quantity of work) soit exactement représentée par le produit du poids par le carré de la vitesse, le même résultat sera obtenu par un projectile de 300 livres doué d'une vitese de 1,150 pieds (349 mètres) par seconde, ou par un projectile de 600 livres, avec une vitesse de 812 pieds (246 mètres) par seconde. Pour que les projectiles conservassent ces vitesses à une distance 1,000 yards (920 mètres), il suffirait que le boulet rayé de 300 livres eût au départ une vitesse

Toutefois dans la question particulière qui était soumise à la commission, il ne s'agissait pas seulement de la valeur relative des navires et des forts : il ne s'agissait pas de savoir si l'on devait profiter des avantages de la mobilité, avantages que la commission reconnaissait à tous égards. La véritable question à résoudre était à ses yeux celle-ci : *Peut-on accroître la force des défenses mobiles en établissant des défenses destinées à appuyer les premières ?*

La commission exprime avec force la conviction que, dans tous les cas, c'est-à-dire que, quel que soit le système de défense adopté, fer ou bois, la marine doit être la force principale sur laquelle l'Empire britanique doit s'appuyer, soit pour protéger son commerce, soit pour attaquer l'ennemi, soit pour s'opposer à une descente sur les côtes britanniques. « Or », dit-elle, « pour que les ressources maritimes de l'Angleterre soient employées avec la plus grande efficacité, il faut que les moyens de défense soient disposés de telle sorte qu'ils retiennent dans nos ports le moins grand nombre possible de navires et de marins. »

« Tous les moyens qui pourront être adoptés pour réduire le nombre des navires et des matelots

nécessaires à la défense de nos arsenaux, seront en réalitité un accroissement de notre puissance navale. Des fortifications augmenteront notre force offensive en même temps que notre force défensive ; car, en coopérant à la défense de nos bases d'opération, à Porsthmouth et ailleurs, elles nous permettront de disposer de toutes nos ressources maritimes comme moyens d'attaque contre l'ennemi et comme moyens de protection générale pour le royaume. »

« Dans l'état actuel de transition de notre flotte, la construction de navires cuirassés est sans aucun doute un de nos pressants besoins ; mais l'établissement d'une base permanente pour la défense du pays, au moyen de fortifications, est indépendante de cette sorte de transition. Les deux questions sont distinctes : l'une répond aux besoins du moment ; l'autre consiste à placer la défense du pays, en tout temps, sur un pied tel qu'il puisse y être pourvu efficacement en y employant le moins grand nombre de vaisseaux et de matelots possible. »

« Les considérations qui précèdent nous amènent à conclure que le système de fortifications est un élément nécessaire dans l'organisation de notre

défense permanente, et que la construction de forts à Spithead est essentielle pour la construction de cette rade. Plus la puissance de l'artillerie se développera, plus l'importance de ces forts augmentera ; en même temps, l'espace à défendre par des batteries flottantes diminuera dans la même proportion. Mais, quelle que soit l'étendue de cet espace, l'appui des forts sera nécessaire pour donner à la défense une supériorité sur l'attaque. Nous ne pouvons donc que maintenir l'opinion exprimée dans notre rapport du 26 février 1861, à savoir que le système combiné de forts et de batteries flottantes est non-seulement économique, mais que c'est en réalité la seule manière de pourvoir efficacement à la défense de Spithead. »

Métallurgie du platine,

par M. de Tubersac.

Le platine, soit pur, soit allié à certains autres métaux, se prête à usage d'armes à feu. Le seul obstacle qui se soit opposé jusqu'ici à l'emploi de ce précieux métal dans la technique militaire, c'est la difficulté d'en obtenir la fusion et l'élévation du prix d'achat.

M. Aubel, ingénieur des mines de Nischni-Tagilsk, dans l'Oural, appartenant au prince Demidoff, a entrepris, pendant l'hiver de 1861, une série d'expériences dans le but de déterminer la température des diverses parties d'un haut-fourneau. Les difficultés qu'il a rencontrées étaient

considérables ; elles tenaient pour la plupart à la nature des substances employées pour évaluer la température et aux moyens d'introduire convenablement ces matières dans le haut-fourneau.

Après de nombreux essais faits avec des tubes de grès ou de porcelaine, de la terre réfractaire, etc., M. Aubel eut l'idée de faire usage, comme support, du charbon des cornues à gaz, substance qui résiste au feu le plus vif du fourneau pendant un temps suffisant pour accomplir l'expérience, et d'alliages de platine avec de l'argent et d'autres métaux, comme mode d'évaluation de la température produite. Ces essais l'ont conduit à trouver que la chaleur qui se dégage dans le point le plus chaud du haut fourneau, c'est-à-dire dans la région voisine des tuyères, est suffisante pour déterminer rapidement la fusion du platine.

Voici la manière dont cet ingénieur procède dans l'expérience.

Dans un morceau de charbon de cornue, il creuse une cavité assez grande pour contenir 5,

10 ou même 20 grammes de platine, qu'il recouvre d'un lut formé de poussière de charbon et d'argile très-réfractaire. Il introduit le tout dans la tuyère et fait arriver le morceau de charbon dans la partie la plus chaude du fourneau. Au bout de quelques instants, cinq à dix minutes, suivant le poids du platine, il retire le support, et le métal est entièrement fondu. A cette occasion, M. Aubel a pu observer parfaitement, sur cette petite quantité de matière, le phénomène si curieux du *boursouflement* du platine, connu sous le nom de *rochage*, et qui n'est autre chose que le dégagement de l'oxygène dissous par le métal en fusion. M. Aubel a répété maintes fois l'expérience, avec le même succès sur des quantités de platine plus considérables.

Ces faits prouvent que la température développée dans les parties les plus chaudes d'un haut-fourneau au bois est de beaucoup supérieure à celle que l'on attribue généralement à ces appareils. L'ingénieur russe l'évalue à 3,000° centigrades environ ; mais les travaux de MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray qui ont modifié de fond en comble la métallurgie pratique du platine,

tendent à prouver que cette évaluation est trop forte d'environ un tiers.

Il est curieux d'observer, en passant, que le jour même où M. Aubel fondit du platine sous le climat de la Sibérie, le mercure se congélait en plein air, c'est-à-dire que la température de l'air ambiant était inférieure à 40° au-dessous de zéro. L'air introduit par les souffleries dans le haut-fourneau, bien que pris dans un local chauffé, arrivait dans l'appareil à 3°.

L'ingénieur russe a essayé de fondre de la même manière l'irridium. Ce métal, qui accompagne le platine dans le sein de la terre et a beaucoup de points de ressemblance avec le platine, est bien moins fusible encore que son congénère : M. Aubel n'a pas réussi à le fondre ; il n'a pu que le *fritter*.

Le chrome, le nickel, le cristal de roche entrent facilement en fusion dans les conditions que nous venons de rappeler.

Il paraît donc bien établi par ces expériences

que la température maxima des hauts-fourneaux au bois est comprise entre la température de fusion du platine et celle de l'irridium.

M. Aubel a promis de poursuivre ses recherches ; nous en attendons les résultats avec impatience.

Traitement direct des minerais de zinc dans les foyers métallurgiques,

par M. de Bourson.

Deux procédés, connus sous le nom de procédés belge et silésien, sont actuellement en usage pour le traitement des minerais de zinc. Ce n'est point le lieu de les décrire même sommairement ; il nous suffira de rappeler qu'ils ne fournissent le métal que par une voie indirecte.

M. Müller propose aujourd'hui une méthode directe d'extraction du zinc. L'expérience suivante a servi de point de départ pour la construction du fourneau, qu'il voudrait substituer aux appareils dont on se sert. Un courant peu rapide d'oxyde de carbone, passant dans un tube de verre chauffé, réduit l'oxyde de zinc, lorsque la température est voisine de celle de la fusion du verre.

Il se produit alors des vapeurs de zinc et de

l'acide carbonique. Ces deux corps cheminent ensemble sans réagir l'un sur l'autre tant que l'oxide de carbone protége la pièce contre l'acide carbonique, c'est-à-dire tant que la température du courant gazeux est suffisante pour que l'oxyde de carbone conserve son action réductrice.

Dès que la température s'abaisse au-dessous de ce point, l'acide carbonique est décomposé par les vapeurs de zinc, et l'on obtient de l'oxyde de carbone et de l'oxyde de zinc : ce dernier se dépose sur le verre, sous forme d'anneau, à une faible distance du point de chauffe. Comme l'oxyde de zinc est complètement fixe, il ne peut y avoir transport qu'à la condition qu'il y ait une réduction à l'état métallique et formation des vapeurs de zinc. Un courant rapide d'oxyde de carbone réduit partiellement cet anneau d'oxyde.

M. H. Sainte-Claire Deville a montré qu'un courant rapide d'hydrogène réduit l'oxyde de zinc à l'état métallique; l'expérience de M. Müller prouve que l'oxyde de carbone exerce précisément la même action dans les mêmes circonstances.

De cette observation, très-intéressante, l'auteur

déduit les conditions à réaliser dans un appareil industriel : 1° réduction de l'oxyde dans le foyer lui-même, 2° destruction de l'acide carbonique dans une cuve pleine de charbon.

L'appareil destiné au traitement des minerais de zinc par le nouveau procédé se compose de trois parties distinctes : 1° d'un creuset de haut-fourneau, dans lequel une soufflerie envoie du vent à haute pression, et chauffé à une température suffisante pour obtenir une combustion vive ; 2° d'une cuve haute de trois à quatre mètres, remplie de charbon, placée sur le côté du fourneau, et recevant le courant d'acide carbonique qui s'échappe du foyer ; 3° d'un conducteur tubulaire latéral, placé horizontalement à la partie supérieure du creuset.

Voici comment on conduit l'opération : on charge dans le creuset amené au rouge blanc les minerais, les fondants et le combustible, après les avoir préalablement échauffés dans un four à réverbère. On échauffe séparément d'une part les minerais et les fondants ; de l'autre, le combustible, afin d'éviter un commencement de réduction dans les fours à réverbère.

La réduction du minerai et la distillation du zinc s'effectuent devant les tuyères, et le courant d'acide carbonique doit entrer dans la cuve à charbon, à la plus haute température possible, au blanc éblouissant. Le léger refroidissement produit par l'introduction des charges dans le haut-fourneau ne nuit en rien à la régularité de la marche. La cuve conserve jusqu'à son sommet une température convenable; l'acide carbonique est détruit et les vapeurs du zinc se condensent. Il ne se produit pas de cadmies, il se dépose seulement une faible proportion de zinc gris. M. Müller recommande d'employer, dans les fondants, de la chaux vive et non du carbonate de chaux. Il annonce que les laitiers se séparent bien, sont très-limpides, et qu'ils ne retiennent pas d'oxyde de zinc; point important, les silicates de zinc eux-mêmes sont complètement décomposés.

L'oxyde de zinc, se trouvant en présence de bases énergiques qui ont tendance à former des silicates fusibles, est déplacé, et, sous l'influence simultanée de la chaleur et du charbon, il fournit des vapeurs de zinc métallique et de l'oxyde de carbone. L'expérienec en grand apprendra sans doute

bientôt s'il faut accorder aux procédés de M. Müller la valeur qu'on est tenté de leur attribuer en examinant les faits sur lesquels ils reposent, et les idées très-rationnelles qui ont servi de point de départ à l'auteur.

Le wolfram ajouté au bronze, à la fonte et à l'acier.

Par M. de Bourson.

Les études métallurgiques ont pris un développement extraordinaire depuis quelques années; l'emploi qui tend tous les jours à s'accroître des métaux, comme matériaux de construction des édifices, la fabrication des cuirasses métalliques pour les navires, l'extension du matériel d'artillerie chez toutes les nations de l'Europe, ont amené la découverte de procédés perfectionnés en matière de fabrication de la fonte, du bronze et autres alliages métalliques.

M. le ministre de la guerre, a ordonné que des essais fussent entrepris au dépôt central de l'artillerie à Paris, dans le but d'étudier l'influence que l'addition du wolfran (minerai naturel du Tungstène), au bronze à la fonte ou à l'acier peut exercer sur le degré de résistance de ces composés métalliques. Le mémoire contenant l'exposé des

ERRATA

Du *Journal des Armes spéciales* du numéro de novembre décembre 1862.

Page 454, ligne 10, au lieu de prolongation, lisez : *prolongement*.

Page 458, ligne 17, au lieu de 2m,74. lisez 27m,43.

Page 459.

NEUVIÈME EXPÉRIENCE.

Le cadre sans les pièces de bois de bocs ci-dessus. La bouche à feu élevée de manière que le prolongement de l'arête supérieure de l'âme se trouvât au-dessous du sommet du cadre. Le coup ne produisit pas d'effet.

Page 467, ligne 5, au lieu de sauverain, lisez : *souverain*.

Page 473, ligne 21, au lieu de culibot, lisez : *cubilot*.

Page 475, ligne 7, au lieu de silzcieuse, lisez : *siliciense*.

AN ts Signes.

JOURNAL DES ARMES SPECIALES.

ARMES DE JET
ET COMPOSITIONS EXPLOSIVES,

COMPRENANT QUELQUES NOUVELLES RESSOURCES DE GUERRE AVEC DES RENSEIGNEMENTS SPÉCIAUX SUR L'ARTILLERIE RAYÉE, DANS SES PRINCIPALES VARIÉTÉS,

Par **J. SCOFFERN**, ex-professeur de chimie au collége de médecine d'Aldersgate, 4e édition; traduite de l'anglais par **F. J. A. MARTENET**, chef d'escadron d'artillerie.

(Voir le n° de février 1863, page 235.)

CHAPIRRE II.

CAUSES QUI ONT DÉTERMINÉ DES CHANGEMENTS DANS LES SYSTÈMES D'ARMEMENTS DES ARMÉES DE TERRE ET DE MER, DEPUIS LES GUERRES DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE.

Quoique le calibre et le genre des projectiles de guerre, ainsi que les types d'armements introduits depuis la fin des guerres de la Révolution Française, aient été très-nombreux et très-variés, cependant leur développement peut être attribué à deux causes principales, savoir : l'adoption du *système Paixhans ou système incendiaire de tir horizontal à obus, et celle des armes portatives rayées, comme armes générales pour la ligne* (1).

(1) On ne regarde pas comme nécessaire d'entrer ici dans des détails concernant le principe des rayures, des explications pleinement suffisantes ayant été déjà données précédemment sur ce sujet.

§ CHANGEMENTS OCCASIONNÉS PAR L'INTRODUCTION DU SYSTÈME PAIXHANS.

Avant les guerres de la Révolution Française, les principes qui réglementaient les combats sur mer étaient des plus simples. Il y avait très peu d'artillerie, à proprement parler. Le vent et la science nautique avaient beaucoup plus d'influence sur l'issue d'un combat naval que l'artillerie. Chaque belligérant s'efforçait de se placer le plus rapidement possible à bonne portée de son adversaire; de tirer à si petite distance que les bordées ne pouvaient guère manquer le but, de reprendre autant que possible une position d'enfilade; et ainsi par l'action unique du fer contre le bois, de battre son ennemi de telle façon, qu'il fût contraint d'amener son pavillon, sous l'effet écrasant de l'artillerie, ou de se rendre, après un abordage, s'il se montrait plus obstiné. Nelson, comme on le sait, montra le premier dans quelle mesure ce pur exercice de force physique pouvait être perfectionné par la manœuvre de « *briser la ligne* » et c'est là, on peut en quelque sorte l'affirmer, que s'arrêtèrent les développements des manœuvres navales,

Il serait présomptueux pour quelqu'un qui n'ap-

partient ni au service de mer ni à celui de terre, de s'arrêter à parler de choses que nécessairement il ne peut bien comprendre, comme de la valeur et de l'importance des manœuvres spéciales de la marine. Mais pour ce qui concerne les forces physiques en jeu, le cas est différent, on peut être un simple bourgeois et cependant comprendre parfaitement leur action. Un boulet de canon très-fâcheux à rencontrer quand il est en mouvement, est assez inoffensif à regarder lorsqu'il est arrêté. Ce même messager de fer semant la mort sur son passage, il n'y a qu'un instant, traversant avec fracas les membrures, démontant les canons, ou mettant les hommes en pièces et en morceaux, est un objet bien différent de ce morceau de métal inanimé et parfaitement inoffensif, quand sa course est achevée.

Quelque réflexion du genre de celle-là semble avoir passé par l'esprit du général français Paixhans, vers 1822, et le lecteur le plus inexpérimenté en ces matières n'aura pas de peine à suivre le général français dans ses conclusions. Il est évident pour le penseur le plus superficiel, que si au boulet plein, tranquille et sans mouvement que nous avons supposé, on substituait un boulet creux, que si ce boulet creux pouvait contenir quelques livres de

poudre,— que si, de plus, en communication avec cette poudre, on pouvait arriver à avoir une fusée brûlant rapidement et assurant l'explosion de la charge de poudre au bout de quelques instants, un nouveau et terrible genre de puissance serait ajouté par surcroît à la simple force brisante développée par le boulet plein pendant son trajet. La substitution des obus aux boulets pleins dans le service naval, est ce que nous entendons par *système Paixhans* ou *système incendiaire*. Je n'ai pas envie de rechercher ici à qui revient le mérite de la priorité de cette découverte. Je sais, et j'ai déjà établi que nous avions adopté l'emploi des obus et que par conséquent nous pouvons en quelque sorte réclamer la priorité sur le général Paixhans. Toutefois, nous nous servions de ces mobiles exceptionnellement, et ne les tirions qu'avec les caronades; tandis que le général Paixhans a le mérite d'avoir construit une espèce de gros canon long spécialement adopté à leur usage, et de proposer son adoption comme artillerie ordinaire, sinon comme artillerie exclusive, pour le service de la marine.

Ici, un premier sujet de réflexion se présente : tandis que l'effet d'un boulet plein ordinaire s'évalue (les autres choses étant égales) par la vitesse

dont il est animé, — ou en d'autres termes par la force de son choc, — l'effet d'un obus, en ne considérant son action que comme obus, dépend de *l'emplacement où il peut se trouver au moment de l'éclatement et de la puissance de sa charge d'éclatement*. Des boulets sont souvent tombés sur le pont d'un navire sans y causer aucun dommage. Ils se sont souvent logés dans ses flancs et leur présence y a eu moins d'inconvénient que n'en aurait présenté le trou résultant de leur extraction. S'ils traversent les bordages, on a bien vite bouché leurs trous et empêché l'irruption de l'eau en quantité suffisante pour compromettre le navire. Mais voyez un obus non éteint tombant sur le pont d'un navire ou se logeant dans la charpente du vaisseau. Voyez cet obus satisfaisant à la condition expresse d'éclater après un court espace de temps déterminé et éclatant en effet. Les conséquences sont évidentes. Quelques explosions semblables se produisant à propos, détruiraient le plus grand vaisseau qui ait jamais navigué sur l'Océan.

Pour un instant, supposons qu'il n'existe pas de forteresses de terre. Figurons-nous que les seules fonctions des vaisseaux de guerre sont d'opérer contre d'autres vaisseaux de guerre, alors il semble

à peu près impossible de ne pas arriver à la conclusion que les obus tirés, comme le seraient les boulets ordinaires — ce qui, en fait, est le système Paixhans — doivent nécessairement présenter des avantages si nombreux et si divers, qu'un juge non prévenu ne pourrait pas hésiter à les adopter pour l'armement maritime. Cependant cette conclusion n'a pas été universellement admise, elle ne l'est pas même encore aujourd'hui. Les Américains seuls ont adopté exclusivement le système à obus pour leur marine, ou, en d'autres termes, ont abandonné entièrement les boulets pleins. Les Français conservent encore un complément en boulets pleins dans l'armement de leurs vaisseaux, et le nôtre est encore plus grand. Pourquoi cette différence de conduite? Telle est la question qu'on peut adresser maintenant. Y a-t-il deux droites et deux gauches dans une seule et même chose? Si les obus sont réellement les meilleurs projectiles pour l'armement maritime des Américains, pourquoi ne le sont-ils pas aussi pour nous et pour les Français? Voici tout bonnement l'explication de cette contradiction apparente. Tandis que les Américains n'entrevoient pas la possibilité que des vaisseaux opèrent contre autre chose que des vaisseaux, les

Français et nous, nous avons en vue un autre emploi du vaisseau de guerre. — *Savoir : l'attaque des forteresses.*

Arrêtons-nous un instant, pour noter un aveu fait tacitement ou ouvertement par la France, l'Angleterre et l'Amérique. — Savoir : que le système Paixhans n'est pas tout à fait approprié à l'attaque des ouvrages en pierres (1). Des officiers de la marine américaine, avec lesquels j'ai conversé, se sont accordés à dire : « *Nous ne nous aviserons jamais d'attaquer une forteresse de première classe de cette façon.* » On aurait recours à d'autres moyens.

Admettons maintenant l'existence des forteresses que nous avions ainsi supprimées en pensée pour la simplification d'une question. Figurons-nous que les *machines du drame* dont il s'agit, sont des vaisseaux de guerre et une forteresse. Supposons que ceux qui sont à bord des vaisseaux se proposent la démolition du fort ou sa prise, tandis que ceux qui sont à terre ont en vue la démolition des vaisseaux ou leur capture. Les uns et les autres sont armés naturellement avec un certain complément de canons-obusiers, mais n'ont pas encore les raffi-

(1) Cette remarque ne s'applique pas aux gros obus de l'artillerie rayée.

nements de l'artillerie rayée. Les forces opposées sont, je suppose, à quinze cents yards de distance, et la lutte commence. Examinons les avantages relatifs des parties et mettons-les en balance. La forteresse est immobile, le vaisseau peut se mouvoir : le compte comporte soustraction et addition. La forteresse doit recevoir toutes les bordées du vaisseau dans l'immobilité, tandis que celui-ci peut se mouvoir dans un certain espace et déranger le pointage de la forteresse. Mais tout l'avantage n'est cependant pas ici du côté du vaisseau. Il y a en effet moins de chance pour qu'il soit atteint à cause de sa mobilité ; mais ses mouvements mêmes nuisent à la justessse de son tir. La forteresse est un plus large but, d'accord. Le vaisseau pourrait difficilement manquer de l'atteindre; tandis que la forteresse court grand risque de ne pas toucher le vaisseau. Admettons aussi cela. Mais relativement aux probabilités de dommage, quand on l'aura atteint, les avantages sont dans une large mesure du côté de la forteresse.

A la distance de quinze cents yards et même de mille yards, un vaisseau peut tirer une bordée d'oranges de Chine contre une forteresse de première classe, avec la probabilité qu'il lui fera au-

tant de mal qu'avec des boulets de fonte. Ce n'est qu'à trois ou quatre cents yards qu'on sera à bonne portée (1). Ainsi donc un vaisseau qui voudra accomplir son œuvre dans ces conditions, devra se placer à trois ou quatre cents yards et *conserver cette position* (aussi longtemps que possible). Cela vaut la peine de réfléchir sur cette petite circonstance juste au moment où les canons rayés à longue portée et à obus de petite capacité sont en faveur (2). Qu'il s'agisse d'un canon rayé ou d'un canon ordinaire, le projectile qu'il lance est ou plein ou creux. S'il est plein, la question n'est pas de savoir jusqu'où il ira, mais avec quelle force il frappera à une distance donnée. S'il est creux, alors, à son choc ou à sa puissance de pénétration vient s'ajouter encore la considération bien plus importante de sa puissance d'explosion. Combien de poudre ou d'autre matière explosive contiendra-t-il? La capacité pour la pou-

(1) A la distance de 400 yards le canon Armstrong du plus fort calibre fut tiré du *May-Flower*, sur la batterie flottante le *Trusty*. Contrairement à ce qui a été affirmé ailleurs, les projectiles Armstrong ne percèrent pas les plaques de quatre pouces d'épaisseur qui protégeaient les bordages, comme on le fera voir plus complètement ci-après.

(2) Les plus forts obus contiennent chacun beaucoup moins de 1 lb. 6 de poudre.

dre du plus gros obus Paixhans existant, je puis même dire du plus grand possible, est tout-à-fait insignifiante, considérée au point de vue de sa puissance d'abattre une fortification à une portée de quinze cents yards.

Ces obus peuvent produire un grand effet contre les canonniers d'une batterie à barbette, ou même contre une batterie ordinaire non couverte, mais les batteries casematées peuvent être regardées comme à l'épreuve des obus Paixhans, c'est-à-dire, des obus tirés horizontalement avec des canons non rayés. Vient maintenant la question de savoir si les obus tirés avec des canons rayés seraient plus efficaces. Cela dépend du développement qu'on peut donner à ces canons dans la pratique. Le canon rayé d'Armstrong étant celui sur lequel on fonde le plus d'espoir en ce moment, cette arme peut être acceptée comme le point de départ de nos recherches. Jusqu'à présent cette arme n'a été fabriquée que de deux dimensions : la plus grande a un calibre de 3 1/4 pouces et une longueur de 10 pieds 6 pouces, et la plus petite un calibre de 2 1/2 pouces. Le plus gros projectile pèse trente-deux livres, le plus petit environ dix-huit.

Le plus fort canon Armstrong contiendrait un

boulet sphérique en fonte ayant un poids un peu au-dessus de quatre livres. Mais il n'est pas destiné à tirer cette espèce de mobile. Ses projectiles sont cylindro-hémisphéroïdaux, avec anneaux de plomb. Maintenant la quantité de poudre que peuvent contenir les plus forts obus Armstrong doit être très peu de choses. Admettons la longue portée de l'arme, sa justesse de tir, point dont personne ne doute, admettons les terribles effets d'une pareille arme de vaisseau à vaisseau, ou de fortesse à vaisseau, toujours est-il qu'un projectile ne pesant que trente-deux livres ne peut pas contenir assez de matière explosive, pour causer beaucoup de dommages par sa seule puissance explosive, à des fortifications en pierres. L'explosion après pénétration serait naturellement plus efficace, mais on ne peut pas attendre une pénétration considérable dans des murailles de pierre à plus de 800 yards, même avec un projectile à rotation comme celui d'Armstrong ; et à cette distance, le vaisseau attaquant, s'il est vulnérable, sera un but certain, non seulement pour les obus Paixhans, mais pour les boulets rouges. Je ne voudrais pas qu'on crût que j'ai l'intention de déprécier la valeur du canon rayé, mais il me semble que le calibre du canon

Armstrong actuellement existant, n'est pas en état d'accomplir ce qu'on peut attendre dans l'avenir d'un canon se chargeant par la culasse; et ici apparaissent de fatales objections à la fabrication des canons rayés, sur le modèle Armstrong, plus forts que ceux qu'on a faits jusqu'à présent. Ils sont en fer forgé, matière dont la transformation en tubes propres à constituer des canons est comprise dans d'étroites limites. Le fer fondu ne remplirait pas le but du constructeur. D'où il semblerait résulter que les canons du système Armstrong ne seraient pas susceptibles d'être fabriqués d'un calibre beaucoup plus fort qu'ils ne sont maintenant : et tels qu'ils sont à présent, ils ne sont pas assez fort pour qu'on obtienne de bons effets de leurs obus tirés horizontalement contre des forteresses (1). La Russie n'a pas à craindre de voir démolir son Cronstadt par

(1) On insiste sur le tir horizontal pour une raison qu'on comprendra plus tard. On posera par la suite la question de savoir si le moyen le plus efficace d'attaquer les forteresses, à bord des vaisseaux, ne consisterait pas à tirer avec des canons rayés sous de grands angles, angles aussi voisins de 45° que l'expérience l'indiquera, pour chaque canon en particulier, pour obtenir le maximum de portée. Mais l'idée émise ici ne pourrait être réalisée qu'avec des canons rayés de fort calibre, huit ou neuf pouces au moins.

quelque espèce de projectiles qu'on puisse tirer avec des canons de trois pouces.

A quelque degré de perfection que l'artillerie rayée puisse être portée par la suite — et pour mon compte, j'en espère de grandes choses, — toujours est-il que les obus tirés verticalement — en d'autres termes, que les obus tirés avec les mortiers, — joueront certainement un rôle important dans la démolition des forteresses. C'est une chose très-différente de tirer un obus horizontalement, suivant le système Paixhans, soit avec un canon Paixhans ordinaire, soit avec un canon rayé, ou de tirer un obus sous de grands angles avec un mortier. Dans le premier cas, non seulement la force du choc est moindre, à mesure que la distance est plus grande, mais l'obus se mouvant horizontalement, ou pour parler plus exactement, sur une courbe de faible courbure, l'explosion doit avoir lieu à un instant donné pour être efficace. Est-il besoin d'insister sur la difficulté de graduer, de régler cette explosion d'une manière précise? Ajoutons à cela les petites dimensions des obus qu'on peut tirer avec les canons Paixhans, ou bien avec des canons rayés comme ceux dont on fait usage aujourd'hui, et nous nous convaincrons des

grands avantages que présente le tir des mortiers pour l'attaque des fortifications. Une bombe tirée sous un angle d'environ 45° et tombant sur un objet le frappe avec une force de choc proportionnée à la portée qu'elle a accomplie. Le réglement de sa fusée n'est pas à beaucoup près aussi délicat qu'il l'est pour un obus destiné à être tiré horizontalement; et comme on peut faire des mortiers de plus fort calibres que des canons longs, les bombes ont en proportion une capacité plus grande que les obus, à moins que les canons longs ne soient rayés et chargés avec des obus allongés et contenant une charge explosive de poudre.

Pour résumer maintenant l'examen des influences que l'introduction du système Paixhans a exercées sur les armements et les armes, le premier résultat de cette adoption fut peut-être la construction des batteries casematées, le second se manifesta par l'impulsion donnée à la création de canons rayés de gros calibres, dans le but d'agir contre ces casemates avec des feux horizontaux. Ensuite vint l'idée des mortiers monstres déterminée par la même cause, tandis que en présence des nouveaux moyens de destruction existants ou qu'on craignait de voir surgir, il sembla désirable d'appli-

quer, en la modifiant, l'idée des forts casematés, et de protéger par des plaques de fer les flancs des batteries flottantes. Quant aux canons rayés de petit calibre (comme par exemple ceux d'Armstrong), malgré la prétendue excellence de ces armes, comme artillerie propre à battre (ce qui, je crois n'est pas ce qui la caractérise le mieux), le principal mobile de leur création fut probablement les grands progrès réalisés dans la fabrication des petites armes rayées. On espéra y trouver un moyen de rendre aux pièces de campagne une grande partie de la puissance qui leur avait été enlevée par les carabines à longues portées de l'infanterie.

§ CHANGEMENTS OCCASIONNÉS PAR LES ARMES PORTATIVES RAYÉES.

D'autres changements non moins importants que ceux imputables à l'introduction du système Paixhans, ce sont ceux qui résultent immédiatement de l'introduction générale des armes portatives rayées dans les armées des nations civilisées. Tant que le mousquet à âme lisse fut l'arme du soldat d'infanterie, 200 yards pouvaient être regardés comme la limite extrême de la distance à laquelle la balle de

mousquet se montrait efficace. Mais à cette même distance, la grape de raisin et la boîte à mitraille sont encore plus efficaces, et au moyen des obus Shrapnell, le *tir dispersé* (comme on peut l'appeler par opposition au tir avec un seul boulet plein) devient efficace jusqu'à la distance de 1,000 yards et même plus, sous certaines conditions. Aussitôt que l'infanterie fut armée avec des carabines de construction moderne, tirant des balles allongées, la relation qui avait longtemps subsisté entre l'artillerie de campagne et les armes à feu portatives fut tout à coup troublée.

Ces dernières acquéraient un grand accroissement de puissance, tandis que celle du canon restait à peu près la même, car, malgré quelques perfectionnements, aucun changement organique n'avait été apporté à la construction et l'emploi de l'artillerie, depuis la fin des guerres avec la France, jusqu'au moment où commença le mouvement en faveur du canon rayé, mouvement qui a depuis abouti à la production de beaucoup de systèmes de ce genre d'artillerie, de différents degrés de mérites, et que nous décrirons plus loin.

Néanmoins, la question de la portée a été fort mal comprise et ses avantages grandement exagé-

rés. Aussitôt qu'on eut découvert que les armes portatives rayées pouvaient devenir efficaces, à une distance de 1,000 yards, et même plus, le public spécula avec beaucoup de complaisance sur l'issue, dans l'avenir, de batailles se livrant à cette grande distance. Cela semblait assez démontrer qu'un simple boulet sphérique ne serait que d'une faible ressource contre des tirailleurs dispersés, que les obus Shrapnell étaient toujours d'un effet incertain par suite de leur principe ; que lorsqu'ils éclataient comme on l'avait calculé, la dispersion des balles produisait peu d'effet, à des distances au-delà de 800 yards ; tandis que chaque soldat d'infanterie pourrait tuer son homme (en supposant qu'il l'atteignît) à une plus grande distance. Il semblait, dis-je, à certains esprits ardents, d'après l'importance qu'ils attachaient à ces considérations, que l'action de l'artillerie de campagne étaient complètement annulée. Les hommes pratiques pensèrent différemment. Pour des raisons palpables, ils virent que l'étendue seule de la portée des petites armes, même lorsqu'elle s'alliait à la justesse du tir, quoiqu'elle fût un élément important, n'était pas l'*unique* élément de la question. Cette qualité complexe si bien désignée par le mot « Pluck » *entrain*

n'est, après tout pas à dédaigner dans les armées, et il arrive que le Pluck caractérise beaucoup plus généralement une bonne infanterie que l'habileté à faire phlegmatiquement les calculs et les évaluations d'angles qu'exige nécessairement la réalisation des portées extrêmes. Si un mortier était établi aux Horse Guards, avec l'intention de détruire le palais de Buckingham, il serait tout naturel pour atteindre ce but que la bombe décrivît une courbe très-élevée et vînt ensuite tomber sur le palais, mais si le parc St-James était rempli d'une troupe serrée d'ennemis dont il fallût tuer le plus possible, et dans tous les cas au moins un, avec des balles de fusil, alors toutes choses égales d'ailleurs, le feu serait d'autant plus efficace que la trajectoire courbe décrite par elles ne s'élèverait pas au-dessus du niveau des objets qu'il s'agit d'atteindre. Excepté dans certains cas spéciaux du service, le projectile d'une petite arme ne devrait pas dépasser la hauteur d'un homme à cheval dans aucun point de sa trajectoire.

Mais il est inutile maintenant de chercher à combattre l'idée qui a prévalu un moment, que les portées extrêmes, que les petites armes sont susceptibles de donner en conservant de la justesse,

étaient pratiquement avantageuses. L'an dernier, en France, les petites armes rayées ne furent pas munies de hausses pour des distances de plus de 600 mètres. Les hausses sont maintenant réduites au modèle de 400 mètres : le mérite qu'il y a à atteindre un objet plus éloigné étant plus que compensé par l'inconvénient d'une trajectoire très élevée, nécessaire pour réaliser cette plus grande distance, et l'embarras et les calculs inséparables de l'emploi de différentes hausses.

Les hausses de l'arme Minié, en service en Angleterre (modèle 1850), ont été réglées pour la portée extrême de 900 yards, quoique cette arme, si on le désirait, puisse porter plus loin. La hausse de la petite arme actuellement en service dans l'infanterie anglaise (Enfield, modèle 1853) n'est disposée aussi que pour la portée extrême de 900 yards, quoique, comme l'arme Minié, cette carabine soit susceptible d'en donner de plus longues. 600 et 400 yards sont encore de très-longues portées comparées à celles qu'on pourrait fournir avec les mousquets non rayés. Sans doute ces portées, pour d'autres motifs, et exceptionnellement de plus longues, ont gravement compromis la puissance de l'artillerie de campagne, telle qu'elle était à l'épo-

que des mousquets non rayés. Les Français paraissent être les premiers qui aient pris la chose en sérieuse considération, et aient cherché à y remédier pratiquement. Un peu de réflexion suffit pour convaincre quelqu'un qui raisonnera la chose, que l'accroissement d'efficacité des armes portatives en campagne ne peut être racheté convenablement par les canons, qu'en augmentant l'efficacité de leur tir à obus. Les effets meurtriers susceptibles d'être produits par un simple boulet plein sont une bagatelle, après tout, comparés à ceux résultant d'un bon emploi de la grappe de raisin, de la boîte à mitraille, et par-dessus tout, des obus. La grappe et la boîte à mitraille ne sont pas d'un bon service au-delà de 300 yards ; et pour les utiliser pleinement, il faut des distances beaucoup plus restreintes. Mais il paraissait à peu près démontré qu'on ne devait plus compter pouvoir tirer de si près, par suite de l'introduction générale des carabines modernes. Il se faisait donc une importante révolution relativement à l'équilibre existant précédemment entre la puissance des petites armes et celle des canons de campagne. Autrefois la grappe et la boîte à mitraille avaient une portée effective plus grande et conséquemment plus d'efficacité que les petites

armes; mais une fois les carabines modernes de la partie, la prépondérance de l'effet destructeur, dans les meilleures conditions que chaque arme pouvait exiger, semblait devoir rester à ces dernières (1).

Évidemment le meilleur moyen de rendre l'artillerie de campagne efficace contre les petites armes rayées de construction moderne (en admettant qu'aucun changement organique de l'artillerie n'ait lieu, comme celui qui résulterait de l'application du principe des rayures, par exemple), était de développer la puissance de l'artillerie au plus haut degré possible, eu égard au tir des obus, et plus spécialement des obus Shrapnell. Maintenant, quoique, nous autres Anglais, nous ayons depuis longtemps adopté l'usage de tirer des obus Shrapnell, avec toute espèce de canon en service d'un calibre plus fort que le mousquet (les mortiers exceptés), les puissances continentales avaient

(1) L'adoption universelle de petites armes rayées ne doit pas empêcher l'organisation de corps spéciaux armés de carabines. Ces derniers seront réservés pour des services spéciaux comme auparavant, et les hausses seront disposées pour des portées plus longues que celles généralement admises pour l'infanterie de ligne.

longtemps suivi une autre marche. On s'accordait généralement, sur le continent, à reconnaître qu'il ne fallait rien moins qu'un calibre d'environ douze livres, évalué d'après un boulet sphérique, pour que le principe des obus soit Shrapnell, soit ordinaires, reçût son plein et entier effet.

Naturellement des canons ayant un calibre de plus de douze livres (toujours évalué d'après un boulet sphérique) seraient encore plus efficaces pour le tir des obus ; mais des canons longs d'un plus grand diamètre seraient presque impossibles à manœuvrer en campagne. Quant aux canons courts (obusiers), ils pourraient être en effet d'un calibre beaucoup plus fort ; mais l'obusier participe tant de la nature du mortier, il faut une trajectoire si élevée pour obtenir une longue portée, qu'il ne semblait pas apte à donner un essor suffisant au génie du tir à obus, pour rivaliser avec les carabines modernes.

En conséquence, les Français adoptèrent un compromis qui, faisant la part de tous les cas, leur parut la meilleure solution. Ils adoptèrent le calibre de douze pour l'artillerie de campagne. Ils construisirent une pièce de campagne qui était une sorte d'intermédiaire entre les canons longs et les

obusiers. De cette manière, ils ne furent pas gênés par le poids des canons ordinaires de douze livres, et l'artillerie modifiée put accomplir, sous des angles plus petits qu'un obusier correspondant, des portées satisfaisantes. On voit que dans la nouvelle artillerie, l'efficacité du tir des boulets pleins fut diminuée, dans le but de donner un effet plus complet au tir des obus.

Les Français y ont-ils trouvé une solution convenable de la difficulté (en admettant toujours qu'aucune modification organique de l'artillerie n'ait eu lieu, comme par exemple celle qui résulterait de l'admission du principe des rayures) ? La question fait doute. Les arguments pour et contre sont de la compétence des militaires. Un simple particulier qui voudrait traiter ce sujet, ne ferait preuve que de présomption. La question n'a pas besoin d'être discutée ici. Il en a été dit assez pour montrer quelle direction avait suivie le courant de l'opinion militaire en France, savoir qu'il s'était tourné *vers les obus comme pouvant le mieux se mesurer avec les armes portatives rayées.*

Malgré le secret dont on a enveloppé tout ce qui est relatif aux récentes élaborations qui ont eu lieu dans les arsenaux français, on ne peut guère douter

à cette heure que ce ne soit le canon rayé qui constitue l'*arcanum imperii*. On aurait pu arriver à cette conclusion par un judicieux rapprochement de preuves éparses. D'abord il transpira que les Français laissaient de côté les canons de douze livres pour adopter à leur place ceux de quatre livres. Mais il n'est pas difficile de voir qu'un canon de quatre livres, c'est-à-dire un canon dont l'âme est faite pour recevoir et lancer un boulet sphérique en fonte de quatre livres, doit, *à moins qu'il ne soit rayé*, être totalement insuffisant et même à dédaigner dans la pratique, surtout au point de vue du tir des obus. *Mais si c'est un canon rayé*, le cas est différent. Il n'aurait pas besoin de tirer et il ne tirerait pas assurément des boulets ni des obus sphériques. Un pareil canon rayé serait susceptible de tirer des boulets ou obus allongés, dans le genre de la balle Minié pour la forme, ou même se rapprochant plus du trait. Ce canon nominal de quatre livres pourrait alors servir à tirer des projectiles, non pas seulement de quatre livres, mais peut-être de huit livres et plus. *C'est pourquoi l'artillerie nouvellement adoptée en France doit nécessairement être une artillerie rayée.*

Il en résulte une autre conséquence également

importante : si c'est une artillerie rayée, on doit nécessairement avoir reconnu qu'elle est propre au tir des obus Shrapnell, car aucun système d'artillerie de terre, quelque meurtrier et efficace qu'il fût d'ailleurs, ne pourrait aller sans cela. Je doutais autrefois de la possibilité du tir des Shrapnell avec le système des rayures ; mais le canon Armstrong a fourni ici un excellent tir avec les Shrapnell, et la possibilité de ce tir a dû aussi être reconnue en France, sans quoi le nouveau canon de quatre livres n'eût pas été adopté pour le service général en campagne. On verra, je crois, que le canon rayé adopté maintenant en France est nominalement un canon de quatre livres, se chargeant par la bouche, et dont le projectile est muni de têtons ou saillies en zinc qui entrent dans les rayures (1) (fig. 38).

Les canons français pour l'armement des vaisseaux sont des canons de service de trente rayés et

(1) Le canon rayé de 4 Français a une longueur de 1 m. 40 c., son épaisseur de métal est de 0 m. 0692 à la culasse, de 0 m. 0317 à la bouche, et son poids est de 325 à 330 kil. L'âme a 6 rayures, le projectile 12 ailettes de 3 millimètres et demi de hauteur, et de 16 millimètres et demi de diamètre; la charge de poudre est de 550 grammes ; la cartouche a une longueur de 150 millimètres ; la quantité de poudre destinée

frettés. Ils sont rayés dans le système des rayures paraboliques. Les rayures sont au nombre de trois ; les projectiles sont guidés par des ailettes en zinc.

Telle est l'esquisse rapide du développement général que les ressources de la guerre ont acquis depuis l'année 1815. On verra bien, je pense, qu'il a dû son origine et sa marche progressive, premièrement à l'adoption du système Paixhans, secondement à l'admission du fusil rayé pour le service général de l'infanterie.

à produire l'explosion du projectile est de 200 grammes, et le projectile chargé a un poids de 3 kil. 900 grammes, ce qui donne 1/7 pour le rapport du poids de la poudre à celui du projectile.

CHAPITRE III.

FORMES DE L'ARTILLERIE RAYÉE EXISTANT ACTUELLEMENT.

Puisque nous employans l'expression « artillerie rayée, » il est nécessaire de déterminer, en nous tenant dans des limites modérées, l'importance générale de cette artillerie.

Les armes à feu qu'on épaule arrivent, en augmentant par degrés insensibles, jusqu'au canon; et comme la fabrication des petites armes rayées se fait sans difficulté aucune, il s'ensuit que la fabrication de certaines variétés de canons rayés peut être exécutée sans beaucoup de difficultés avec les mêmes matériaux absolument que les armes à feu qu'on épaule, c'est-à-dire en fer travaillé au marteau ou forgé. Mais au delà de certaines limites de poids et de dimensions, le fer,

dans l'état actuel de l'industrie, ne peut pas être travaillé avec la perfection nécessaire pour assurer la solidité d'un canon. Le canon monstre non rayé de treize pouces, forgé à grands frais et avec beaucoup de soin par la compagnie des forges de Mersey, et présenté au gouvernement, est une école complète. Quoiqu'il n'ait jamais été tiré, à beaucoup près, avec sa charge complète, le canon est fendu à la culasse, et l'explosion rend très-rapidement sa lumière trop large pour le service. S'il est déjà si difficile de forger avec succès une pièce d'artillerie non rayée, combien ne serait-il pas plus difficile encore de fabriquer un canon rayé de mêmes dimensions !

Lorsque, par conséquent, on parle d'une pièce d'artillerie en fer forgé bien réussie, je le répète, il faut considérer quel est son calibre, et cela plus spécialement dans le cas de l'artillerie rayée qui est soumise à un effort beaucoup plus considérable que celui auquel est appelé à résister un canon ordinaire ou non rayé.

La seule espèce d'artillerie rayée en fer forgé ayant réussi, que je connaisse (à l'exception de celle du capitaine Symon, R,-A), est celle de l'invention d'Armstrong. Deux questions se présentent

relativement à cette espèce de canons. Sont-ils susceptibles d'être fabriqués de toutes dimensions? Sinon, le calibre de ce canon tel qu'on l'a à présent, est-il en état de satisfaire à tous les usages auxquels les canons sont appliqués (1)?

Je ne doute pas du triomphe du canon Armstrong, comme pièce de campagne; je ne mets pas en question son efficacité contre les vaisseaux; mais est-il assez puissant pour se mesurer efficacement avec une forteresse de première classe, comme Cronstadt ou Gibraltar?

On a fait remarquer précédemment que quelle que puisse être la portée d'un canon, l'efficacité de ses projectiles est proportionnée à la mesure dans laquelle ces projectiles satisfont à une ou plusieurs des quatre conditions suivantes, savoir : de pénétrer, de battre en brèche, d'incendier et de faire sauter.

(1) Les canons Armstrong n'ont été construits jusqu'à présent que de deux dimensions : le plus gros ayant un calibre de trois pouces et demi et le plus petit un calibre de deux pouces et demi seulement. Dans tous les deux, le pas des rayures est le même, une révolution en douze pieds. Le poids du plus gros est de 18 cwt., celui de son obus, 32 lbs. L'obus le plus léger pèse 18 lbs.

§ DESCRIPTION DE L'ARTILLERIE RAYÉE D'ARMSTRONG.

Quoique cette arme maintenant célèbre ne soit pas à beaucoup près la première en date, il n'y a pas de doute cependant, qu'elle est la merveille du jour, et par conséquent la préséance lui est due et je vais la décrire d'abord.

Il a déjà été dit que le calibre de la plus forte pièce de l'artillerie Armstrong est de trois pouces un quart. Elle contiendrait par conséquent un boulet plein sphérique en fonte d'environ quatre livres; et, considéré sous ce point de vue, on pourrait l'appeler un canon de quatre livres. Mais assurément des gens sensés ne tireront jamais de projectiles sphériques avec des canons rayés gros ou petits. Des projectiles allongés plus ou moins semblables à des traits par leur forme, viendront les remplacer, et c'est de cette nature que sont les projectiles employés par sir William Armstrong.

Il n'est pas besoin de faire remarquer que le poids du boulet d'une pièce d'artillerie rayée évalué comme s'il était sphérique, ne fournit aucune indication quelconque sur le poids absolu du projectile qu'elle peut tirer. Un boulet en fonte du

diamètre de trois pouces un quart pèse environ quatre livres ; mais un cylindre de même diamètre et d'égale hauteur pèserait moitié en plus ; et ainsi de suite, en proportions pour de gros cylindres. Les projectiles du canon Amstrong (le nom de traits leur seront assez bien appliqué) sont de deux poids différents. Le plus léger pèse environ 18 lbs; avoir du poids, le plus lourd environ 32 lbs.

Quant au plus gros canon lui-même, son poids est de 18 quintaux. Il est si généralement connu qu'il se charge par la culasse, que si ce n'était en vue d'être complet, je n'aurais pas eu besoin d'énoncer le fait.

Ce canon est construit partie en acier et partie en fer, et ces matériaux sont distribués de la manière suivante : d'abord, la partie dans laquelle est pratiqué le vide intérieur ou âme, c'est-à-dire sa partie centrale, consiste en un tube d'acier, dans lequel, de la culasse à la bouche, courent quarante rayures ou sillons en hélice dont le pas est un tour en douze pieds.

Sur la surface extérieure du tube central, vient un tube en fer forgé formé d'un ruban enroulé en spirale, d'un bout à l'autre du tube d'acier, le recouvrant au fur et à mesure et soudé aux joints ;

construction, comme on le remarquera, exactement semblable à celle d'un canon tordu ordinaire d'arme portative. Il ne reste plus maintenant qu'à dire, pour que la description de la partie qui constitue la volée ou l'âme du canon rayé d'Armstrong soit complète, que sur ce ruban de recouvrement il en existe un autre enroulé en hélice dans le sens opposé.

Nous arrivons maintenant au mode de chargement, pour l'intelligence duquel la figure 39 sera d'une utile ressource.

Ici, nous pouvons utilement nous permettre une petite digression, pour donner un exemple de la manière curieuse dont les découvertes laissées de côté sans être utilisées, à une certaine époque, reviennent et sont mises à profit plus tard.

Toute personne qui a consacré seulement un peu d'attention aux difficultés inhérentes à la fabrication des canons, doit savoir que le problème du chargement par la culasse n'est pas d'une solution facile. Cependant la recherche d'un canon se chargeant par la culasse ne date pas d'aujourd'hui. On a la preuve que des canons se chargeant par la culasse furent fabriqués et employés sous Henri VIII. On peut voir encore dans la Tour de Londres, cer-

taines reliques provenant du vaisseau de guerre « Mary-Rose » qui sombra sous le règne de Henri VIII, parmi lesquelles se trouvent un canon se chargeant par la culasse, et, qui plus est, le système de chargement ressemble de très-près à celui adopté aujourd'hui par sir William Armstrong.

Je ne dis pas cela le moins du monde par esprit de dénigrement. Je sais parfaitement bien que la seule difficulté inhérente à l'adoption d'un système de chargement par la culasse, provient de la force de notre poudre moderne, de la quantité qui est nécessaire pour obtenir les portées modernes, et peut-être par-dessus tout de ce que les projectiles se rapprochent plus aujourd'hui qu'autrefois du calibre de l'âme. Admettez un vent illimité, tirez par exemple un boulet de quatre livres dans un canon de six livres, et bien des modes imparfaits de chargement par la culasse, tout à fait inadmissibles avec les exigences modernes, ne présenteront alors aucun inconvénient.

Après m'être ainsi défendu contre toute accusation de dénigrement, je ne dois pas craindre d'être mal compris en disant que la construction du canon Armstrong, que je vais maintenant décrire,

ressemble beaucoup à celle de la pièce provenant du naufrage du « Mary-Rose. »

§ SYSTÈME DE CHARGEMENT PAR LA CULASSE DES CANONS ARMSTRONG.

En jetant un coup d'œil sur la figure 39, le lecteur apercevra, à peu près à moitié distance entre les tourillons et la vis de culasse, un espace blanc parallélogrammique ayant la lettre T inscrite dans l'angle de gauche supérieur. Ce parallélogramme est une sorte de trappe susceptible d'être enlevée et séparée du canon, et laissant alors ouverte une entrée dans le canon vers l'extrémité de la culasse. Cette trappe, lorsqu'elle est enlevée, a la forme indiquée par la figure 40.

Ce que j'ai appelé une trappe serait mieux nommé un bloc de fermeture, car il est entièrement plein, à l'exception d'un canal venant aboutir à la lumière T et se prolongeant en faisant un coude jusqu'au centre de D.

Maintenant le lecteur doit faire une attention toute particulière à un petit accessoire à peine indiqué figure 39, à cause de ses dimensions minimes. C'est un anneau plat ou un court cylindre

en cuivre placé à l'extrémité postérieure de l'âme et constituant une partie de la chambre destinée à recevoir la principale charge de poudre (1).

C'est ce cylindre de cuivre, plus que toute autre chose, qui fait le mérite de l'invention d'Armstrong, comme système de chargement par la culasse.

Si quelque personnage excentrique s'imposait la tâche d'empêcher la sortie de l'air de la douille d'un soufflet, en la bouchant avec une tige de fer, il trouverait que ce n'est pas chose facile, ou plutôt on peut dire qu'il ne pourrait pas arrêter l'échappement de l'air. Le fer étant rigide, la tige et la douille ne s'ajusteront pas exactement l'une sur l'autre : elles laisseront entre elles de petits canaux d'échappement par lesquels l'air passera sous une pression suffisante. Cependant la douille du soufflet pourrait être effectivement *bouchée*, et ceci peut nous donner une idée des difficultés que d'autres ont rencontrées dans la construction d'un système parfait de chargement par la culasse, et qu'Armstrong a surmontées. Aucun joint de fer, aucune surface de contact, aucune vis, aucun tampon de

(1) La cartouche en flanelle C est raccourcie à dessein dans le but de rendre l'anneau en cuivre plus visible.

quelque espèce que ce soit ne s'est trouvé, en pratique, fermer assez hermétiquement et assez solidement pour empêcher complètement la sortie des gaz de la poudre enfermés dans un canon. Quand l'ingénieur avait fait de son mieux et produit un canon parfait en apparence, — la flamme s'échappait néanmoins par l'appareil, salissant ce qu'elle touchait, déposant de la suie sur les surfaces e plus exactement jointes, et rendant des parties soigneusement ajustées les unes sur les autres aussi défectueuses qu'un mécanisme grossier.

Armstrong eut l'heureuse idée (1) de boucher le tube de son soufflet, non à la bouche à la vérité, mais à la culasse. Quand j'aurai ajouté que le bouchon de sir William Armstrong est un anneau de cuivre, alors on connaîtra presque tout le secret de son succès. Sous l'énorme pression de (peut-être) quinze tonnes par pouce carré, l'anneau de cuivre se dilate et ferme effectivement la culasse du canon.

(1) Mais j'apprends que l'idée d'empêcher l'échappement des gaz de la poudre par une pièce en cuivre susceptible d'expansion, est venue aussi à MM. Chruch et Goddard, qui prirent une patente pour le principe, et contesteront à sir William Armstrong sa prétention à être exclusivement récompensé pour cela.

En se reportant à la figure 39, on verra de plus qu'immédiatement derrière le bloc obturateur, par lequel nous avons commencé notre description, se trouve une grosse vis qui, lorsqu'on la retire, fait du canon un tube ouvert dans toute sa longueur. Cette vis elle-même, comme on le voit à l'inspection de la figure, est percée suivant son axe (1) d'un canal cylindrique par lequel on introduit une barre rigide qui permet de pousser à sa place le projectile (car on ne peut pas l'appeler boulet).

Quand le projectile est ainsi appuyé, on introduit après lui un sachet renfermant la charge de poudre, et désigné par C dans la figure 42, et ce sachet ne pouvant être percé, comme cela se pratique dans les autres canons, à cause du coude qu'affecte le canal de la lumière avant d'aboutir finalement à l'entrée de la chambre, il a fallu

(1) Dans la seule description du canon Armstrong publiée jusqu'à présent, ce trou central pratiqué suivant l'axe d'un bout de la vis de culasse à l'autre n'est pas mentionné. Une fois, la vis de culasse d'un canon Armstrong n'ayant été que légèrement serrée, le bloc solide qui ferme l'ouverture pratiquée dans la culasse sauta, et mit sérieusement en danger la vie du général Peel qui se trouvait près de là en ce moment; et une autre fois l'anneau de cuivre se fendit et le canon éclata.

imaginer un procédé spécial d'ignition. L'obturation est légèrement excavée à sa partie antérieure pour recevoir une petite cartouche à poudre. Aussi peut-on dire que le canon Armstrong a deux charges ; on met le feu à la plus petite, ou charge d'amorce, au moyen d'un tube à friction (1). Chaque pièce est approvisionnée de deux obturateurs, un restant dans le caisson pendant que l'autre est dans le canon. Chaque pièce est munie de mires télescopiques fixées latéralement, et de plus un vernier est disposé pour tenir compte de la déviation spécialement due au mouvement de rotation en hélice qu'on a nommée dérivation.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à dire, relativement au canon lui-même, qu'il doit être largement épongé avec de l'eau quand on s'en sert, parce que si, par circonstance, on ne pouvait pas se procurer d'eau, on ne pourrait pas se servir du canon Armstrong (2).

(1) Pour la description des tubes à friction, voir plus haut.

(2) Aujourd'hui les canons Armstrong sont entièrement en fer forgé. La vis est creuse et sert à l'introduction de la charge. Son diamètre intérieur est égal à celui de la chambre qui a un huitième de pouce de plus que celui de l'âme. Au moyen d'un bouchon de graisse qui accompagne la charge, on a obvié à l'inconvénient d'éponger souvent.

§ DESCRIPTION DES PROJECTILES EMPLOYÉS.

Je suis parfaitement au fait de la disposition intérieure de l'obus Armstrong ; mais, *pour le moment*, je ne crois pas qu'il soit à propos d'en faire connaître les détails.

Le plus léger des projectiles, comme je l'ai dit déjà, pèse environ dix-huit livres, et le plus lourd environ trente-deux ; mais leur construction, en ce qui concerne les moyens de les rendre susceptibles d'etre tirés dans des tubes rayés, est ce qui doit maintenant plus spécialement nous intéresser.

Les projectiles de l'artillerie rayée imaginés et employés jusqu'à présent peuvent être classés de la manière suivante :

Projectiles de l'artillerie rayée.	sans enveloppe,	fer forgé,	Lancaster.
		fonte,	Cavalli. Wahrendorf.
	avec enveloppe.		Armstrong.

Je ne comprends pas dans cette classification le canon rayé de Whitworth, son inefficacité étant généralement admise. Plusieurs de ses canons ont été consciencieusement essayés par le gouvernement anglais ; tous ont éclaté. Aucun de ses canons en fer n'a été au delà du dixième coup. Le temps

moyen employé à charger était d'une demi-heure, et le projectile ne pouvait être introduit sans avoir préalablement lubréfié les parois de l'âme avec de l'huile chaude (1).

Le projectile Armstrong est pourvu de deux anneaux de plomb représentés par BB, (fig. 41) (2). Le but de ces anneaux est évident pour tous ceux qui comprennent les principes sur lesquels repose le succès des canons rayés (3). Quoiqu'on puisse tirer des boulets pleins avec le canon Armstrong, il est plus particulièrement approprié, comme toute artillerie rayée, au principe du tir à obus ; et comme l'efficacité des obus dépend entièrement de la nature de la fusée employée, il serait bon de donner une description détaillée de la fusée Armstrong.

Dans mon *Traité sur les armes de jet*, j'ai donné une description si complète de la fusée belge pour obus Shrapnell (fusée Borman), ainsi que de la

(1) Un des canons Whitworth éclata au troisième coup, avec une charge de six livres de poudre seulement.

(2) Sir William Armstrong couvrit d'abord ses projectiles entièrement de plomb, mais on trouva que cette enveloppe était sujette à se séparer du projectile dans le tir.

(3) Maintenant les projectiles Armstrong sont entièrement recouverts de plomb sur la partie qui est cylindrique.

fusée à choc du capitaine Moorsom, qu'il n'est pas nécessaire que je m'étende ici davantage sur elles. Mais pour le lecteur qui désire bien comprendre la construction de la fusée Armstrong, il est nécessaire qu'il possède la connaissance des autres, d'autant plus que cette dernière n'est rien autre chose qu'une ingénieuse combinaison des deux premières.

A proprement parler, chaque obus Armstrong est pourvu de deux fusées : l'une partant de l'extérieur et pénétrant dans l'obus, comme cela a lieu d'ordinaire pour toute fusée, et l'autre entièrement cachée dans l'obus. Cette dernière est uniquement à percussion ou plutôt à choc, tandis que la fusée extérieure est, de sa nature, partie à choc et partie à composition, de durée variable.

C'est la déflagration de la charge de la pièce qui communique le feu à la fusée Borman, et un canal horizontal de composition fournit le moyen de provoquer l'ignition dans l'intérieur de l'obus, à une distance donnée. Mais Armstrong ne se sert pas de ce moyen pour mettre le feu à sa fusée; il arrive à ce but par l'action d'une pointe d'acier qui est chassée contre une mouche de composition fulminante, au moment même du départ du

coup et par l'action de l'explosion de la charge.

L'explication suivante rendra intelligible la méthode employée pour obtenir ce résultat. Qu'on se figure un pistolet et au fond du canon contre le bouton de culasse fortement tassée, une petite quantité de la composition fulminante qui est employée pour charger les capsules ordinaires à percussion. Si une pointe vient à être chassée contre elle avec une certaine force, la mouche de fulminate durci fera évidemment explosion. Qu'on se représente maintenant dans le canon une petite barre d'acier pointue, la pointe tournée en bas, mais suspendue à quelque distance au-dessus de la mouche par un fil de laiton passant par un trou transversal fait dans la petite barre et par deux autres trous correspondants pratiqués dans le canon. Il est parfaitement évident que tant que le fil de laiton ne sera pas brisé, la pointe ne tombera pas et la mouche de fulminate ne fera pas explosion. Mais si la barre d'acier ainsi disposée dans le canon du pistolet, on vient à frapper brusquement avec un marteau derrière la culasse, il est probable que non-seulement le fil sera brisé, mais que la pointe sera chassée contre la composition fulminante. Dans tous les cas, le choc formidable pro-

duit par l'explosion de la poudre est bien sûr d'accomplir ce qu'un simple coup de marteau pourrait quelquefois ne pas faire. La mouche de fulminate manque rarement de faire explosion et alors, par des moyens faciles à imaginer, la flamme met le feu à un canal horizontal rempli de composition et communiquant, lorsqu'elle est brûlée, avec la charge intérieure de l'obus.

Au moyen d'un chapeau et d'une échelle graduée, disposés circulairement, la composition en question peut être enflammée en un point quelconque de sa longueur, depuis l'origine, et de cette manière la durée de son ignition peut être réglée. Tel est le principe de la fusée extérieure d'Armstrong. Pour ce qui est de la fusée intérieure, nous n'avons besoin que d'en dire peu de chose. En principe c'est une répétition de la partie à choc de la fusée extérieure renversée, la pointe est disposée de manière que le choc produit par le tir brise aussi le fil de suspension et rend libre la petite barre d'acier à pointe, mais celle-ci au lieu d'aller trouver la mouche de fulminate, s'en éloigne et ne vient la percer qu'au moment où l'obus frappant contre le but, chasse en avant la petite barre d'acier à pointe.

Le canon Armstrong est très-juste et sa portée

est considérable. Il a accompli une portée de 9,600 yards et à chaque coup à la distance de 1,000 yards, on peut compter mettre dans une cible n'ayant pas plus de deux pieds carrés; mais il est long à charger. On peut charger deux fois un canon ordinaire, pendant le temps qu'on met à charger une fois le canon Armstrong de même calibre.

D'après la description qu'on vient d'en faire, on ne peut guère douter de la puissance de cette arme. Mais la question de savoir si un canon rayé quelque perfectionné qu'il soit, est en état de rendre tout les services qu'on peut demander à un canon, est encore à discuter. Je suis disposé à la résoudre par la négative, mais le canon Armstrong peut donner autant qu'un canon rayé quelconque de même calibre.

Le public a eu connaissance des résultats obtenus à Shoeburyness, avec ce canon tiré du *Mayflower*, contre une batterie flottante cuirassée. Les rapports faits sur ces essais par les journaux ont été exagérés. Lorsqu'un boulet Armstrong frappait une plaque au centre, il ne faisait que la déprimer, mais lorsqu'il l'atteignait sur un angle ou un joint la plaque était desserrée et l'obus perçait le bord. Le tir n'eut lieu qu'à la distance de 400 yards.

§ CANON RAYÉ DE WAHRENDORF SE CHARGEANT PAR LA CULASSE.

Un spécimen de ces canons figurait à notre exposition nationale de 1851. Il avait un calibre d'environ 6,40 pouces et pouvait, par conséquent, passer pour un canon de 32 livres, d'après le boulet sphérique qu'il aurait tiré.

Le canon Wahrendorf a quatre rayures; le boulet est en fonte sans enveloppe comme nous l'avons dit déjà, mais avec des saillies ou ailettes qui s'adaptent aux rayures.

Quant à la fermeture de la culasse, pour en donner une idée, nous dirons qu'elle s'opère au moyen d'un tampon cylindrique en fer forgé du diamètre de l'âme, portant à sa partie antérieure un anneau en acier extensible, et qui est maintenu par une clavette cylindrique en fer qu'on introduit transversalement dans la culasse.

Je crois qu'on peut bien dire que le canon Wahrendorf est en usage, mais il est difficile de dire que c'est avec succès. L'accident auquel il est principalement sujet, c'est de se briser transversalement à

l'emplacement de la clavette qui elle-même est sujette à se briser ou à se tordre.

Si nous prenons en considération l'énorme effort initial auquel une pièce d'artillerie rayée se chargeant par la culasse doit nécessairement être soumise, au moment du premier effet de l'explosion, et la fragilité inhérente à la fonte, cette rupture transversale du canon ne doit pas nous étonner. Le fer forgé étant une matière plus tenace, un canon fait de ce métal ne serait pas sujet à un accident de ce genre; *mais apparemment, on ne peut pas fabriquer un canon d'un calibre égal au canon rayé du comte de Wahrendorf*, et il serait impossible, à cause de la malléabilité du bronze ou métal à canon, de se servir de ce métal pour un canon destiné à tirer des boulets ou des obus nus en fonte.

Le perfectionnement introduit dans l'artillerie par l'application du principe des rayures, demande pour son complet développement quelque chose de plus qu'une augmentation de résistance dans la matière. Plusieurs propositions à ce sujet sont à l'étude et une d'entre elles spécialement donne des espérances.

§ CANON RAYÉ SE CHARGEANT PAR LA CULASSE, DE CAVALLI.

Le canon Cavalli est en fonte, l'âme traverse la pièce dans toute sa longueur et une autre ouverture pratiquée horizontalement dans la culasse est destinée à recevoir un coin qui est la partie essentielle de ce système. Un anneau en cuivre forgé, d'un diamètre intérieur égal à celui de l'âme, est placé à la partie postérieure de la culasse et vient s'appuyer contre la face du coin lorsque celui-ci est en place. C'est ce qui constitue la fermeture de la culasse. Un culot en fonte placé entre la charge et la face du coin reçoit les crasses de la poudre et les empêche de salir le coin. Le canon a deux rayures et le projectile en fonte nue a deux saillies ou ailettes correspondantes.

Naturellement, il est toujours difficile de se procurer des témoignages dignes de confiance relativement au succès ou à l'échec des modèles d'artillerie étrangère, mais au moyen des accusations dictées par l'amour-propre des nations rivales, on peut souvent arriver à la vérité.

Les officiers du service de Sardaigne auquel ap-

partient Cavalli, condamnent hautement le canon suédois parce qu'il est sujet à se briser transversalement, tandis que les officiers suédois de leur côté affirment que l'expédient imaginé par Cavalli ne conduit pas à un résultat d'un iota plus satisfaisant. Je crois que le canon de Cavalli est moins sujet à se briser que son rival suédois, mais qu'il est encore très-dangereux, comme le sera probablement toujours toute pièce rayée se chargeant par la culasse et tirant des boulets en fonte nue; et ici, une fois encore, l'occasion se présente d'indiquer comme corollaire de tout ce qui a été dit précédemment, que d'après toutes les expériences et tous les témoignages relatifs à la question, le canon Armstrong doit nécessairement être construit en un métal malléable. La fonte serait trop brisante et il reste encore à voir si le bronze pourrait réussir.

§ SYSTÈME DE CANON RAYÉ DE LANCASTER.

Comme j'ai décrit ailleurs très-complètement le système de M. Lancaster (1), il n'est pas nécessaire d'y revenir ici, excepté pour dire qu'il ne doit nul-

(1) Précédemment page 229.

lement être considéré comme le rival du canon Armstrong.

Dans les limites de calibre où un canon en fer forgé se chargeant par la culasse peut être fabriqué dans des conditions de bon service et d'économie compatible avec les exigences d'un service militaire de terre ou de mer, un canon se chargeant par la culasse est sans doute le meilleur. Mais la réflexion m'amène forcément à conclure, que pour battre en brèche et démolir des forteresses de première classe, une pièce n'ayant que trois pouces un quart de calibre ne se trouvera pas assez forte. Les longues portées sont un élément qui séduit l'imagination du public. L'idée que ce point dans l'espace lance à cinq ou six milles en mer les projectiles Amstrong, sur Cronstadt et Gibraltar, est très attrayante. Mais il reste à résoudre une importante question. Que peuvent faire ces projectiles (bolts) quand ils sont là? Démolir est le but que l'on se propose en les lançant, et leurs moyens de démolition sont limités, après tout. Brûler, battre en brêche ou faire sauter, et la liste des moyens est épuisée. Maintenant quoiqu'il puisse être facile à sir William Armstrong de mettre le feu à une ville voisine des côtes maritimes, Brighton, par exem-

ple, il serait embarrassé pour brûler le granit de Cronstadt ou le rocher casematé de Gibraltar. Quant à savoir si les canons Armstrong réussiraient à abattre une forteresse de première classe à une grande distance (1), on peut en juger en étudiant les effets de ce canon sur la batterie flottante cuirassée, distante seulement de 400 yards du *Mayflower*, lorsqu'on tirait sur elle de ce point. Finalement, incendier ou faire sauter sont des fonctions qui, comme je l'ai déjà démontré, sont nécessairement plus ou moins remplies, suivant que les projectiles peuvent contenir plus ou moins de matières incendiaires ou explosives. *Or, le manque de capacité est peut-être le côté le plus faible de l'obus Armstrong.*

En méditant sur le passé et le présent de l'artillerie rayée, en considérant ses progrès jusqu'au temps présent, en réfléchissant aux obstacles qui arrêtent son développement ultérieur (peut-être pour un instant seulement), on verra que le manque de résistance suffisante dans la matière dont on fait les canons rayés est le principal, sinon l'unique empêchement à un développement plus com-

(1) Bien entendu à une distance pratique.

plet de ce principe vraiment formidable. Aussi bien, quoique le canon Armstrong ait donné jusqu'ici des portées d'une longueur sans précédent (1), elles sont petites comparativement à celles qu'on aurait pu obtenir, si ce canon eût été assez fort pour résister à une charge de poudre en rapport avec celle employée dans les petites armes rayées. Pour le tir direct ou horizontal, c'est un fait dont on ne saurait trop se pénétrer, que plus le projectile est lancé directement, *mieux* cela vaut. Le canon d'Armstrong donnait sa portée extrême de 9,600 yards sous l'angle de 36° (2), c'est-à-dire avec une trajectoire très-courbe.

Si la même portée eût pu être obtenue avec une trajectoire plus tendue, à l'aide d'une charge plus forte, c'eût été autant de gagné en puissance *pour le tir horizontal.*

Ce qui manque aux artilleurs c'est une matière assez forte pour permettre l'emploi d'une charge complète, conjointement avec l'application du principe des rayures aux canons.

(1) La plus longue portée fournie par son canon de trois pouces un quart sous l'angle de 36°, fut 9,600 yards.

(2) L'expression de *tir horizontal* peut difficilement s'appliquer avec exactitude à des coups tirés sous un angle de 36°.

Ce but atteint, il semble qu'il n'y a pas de raison pour que le principe des rayures appliqué à la grosse artillerie ne puisse pas se combiner avec le tir à feux verticaux. Jusqu'ici le tir vertical a été restreint aux mortiers, si on en excepte quelques cas sans importance; néanmoins quelques canons longs démontés, en partie enterrés et tirés sous de grands angles, ont fourni quelques indications sur les résultats qui pourraient être obtenus avec ce genre de tir, en admettant qu'il pût devenir susceptible d'une application générale. A présent, les difficultés que l'on rencontrerait dans la construction d'un canon long, de 13 pouces, parfaitement sûr, pour tirer sous de grands angles comme un mortier (1) seraient insurmontables; mais si

(1) Je n'ai pas besoin de rappeler à l'artilleur que dans le vide les plus longues portées ont lieu sous l'angle de 45°, et que pour tous les coups se mouvant lentement dans l'air, on ne s'éloigne pas beaucoup des conditions dans le vide. Comme les bombes ont de petites vitesses, elles approchent assez près de la hauteur qu'elles auraient dans le vide à 45°. Mais au fur et à mesure que la vitesse d'un projectile augmente, l'angle de tir qui donne la plus longue portée devient moindre. Ainsi la plus longue portée des armes portatives nouvelles a lieu à environ 33°. La plus longue portée qu'on puisse avoir avec les mortiers est si peu considérable que, même en supposant que la résistance du matériel le

une bombe de treize pouces (charge 5 lbs. de poudre) pouvait tomber du sommet d'une parabole ayant la même courbure que celle décrite par un projectile lancé par un canon long de gros calibre, rayé, tiré sous l'angle nécessaire pour accomplir sa plus grande portée théorique, les effets en seraient terribles. Il est admis, je crois. qu'il serait beaucoup plus facile de démolir une forteresse en lançant dessus des projectiles creux qu'en tirant des boulets ou des obus horizontalement contre ses flancs. Présentement, les mortiers peuvent seuls accomplir ce tir vertical; et la question est de savoir si des batteries flottantes de mortiers pourraient résister à la grêle de boulets et d'obus qui seraient lancés contre elles horizontalement, en supposant que ces batteries n'en soient pas à l'abri. Mainte-

permit, on ne pourrait pas les tirer sous un angle de plus de 45°, dans le but d'obtenir une courbe de descente plus rapprochée de la verticale, parce que cet accroissement de hauteur diminuerait nécessairement la portée. Mais si on pouvait faire des canons rayés de gros calibre assez forts pour résister au tir vertical, alors leur portée est si grande, que cela pourrait bien valoir la peine de sacrifier une partie de cet avantage, pour que la branche ascendante et la branche descendante de la trajectoire décrite par l'obus se rapprochassent plus de la verticale.

nant, la portée extrême d'un mortier de treize pouces pour le service de mer (le plus fort actuellement en service) n'est que d'environ 4,000 yards, tandis que la portée extrême des pièces longues modernes est beaucoup plus grande, d'où il semblerait résulter que les batteries flottantes à mortiers auraient d'autant plus le désavantage lorsqu'elles agiraient contre des fortifications à terre, en admettant qu'on parvienne à construire des canons longs rayés assez forts pour résister à l'explosion d'une charge complète, dans les conditions difficiles du recul supprimé et du tir sous de grands angles. En supposant que les canons en question soient du calibre de huit ou neuf pouces, les portées que les projectiles pourraient accomplir seraient trop grandes pour oser spéculer sur elles, sans exposer celui qui le ferait au ridicule, et les effets de ces obus seraient proportionnés aux conditions essentielles et ordinaires de la pénétration et de la puissance explosive. On ne doit jamais perdre de vue que, quand il s'agit du tir vertical, la puissance du choc et la pénétration qui en résulte sont toujours proportionnées à l'étendue de la portée ; c'est-à-dire que plus la portée est grande, plus l'effet qui en résulte est puissant ; ce qui est exactement le

contraire de ce qui arrive, lorsqu'il s'agit du tir horizontal.

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS A LA FUSÉE DE GUERRE, DEPUIS 1858.

Quel que soit le système adopté pour lancer les projectiles, à la guerre, il ne doit être considéré que comme un moyen d'atteindre un but défini. Ou on se propose d'imprimer au projectile une force pour produire un choc direct, ou on veut porter un réceptacle (un obus par exemple) sur un point déterminé où, une fois parvenu, il doit remplir un rôle de destruction.

On a déjà fait voir, démontré même, je pense, que tout projectile qui n'embrasse pas la fonction spéciale, c'est-à-dire qui ne jouit pas de la faculté de conserver en avant dans sa marche une extrémité déterminée et de frapper le but par cette extrémité, ne devra pas être calculé pour développer l'effet de quelque matière destructive plus perfectionnée de sa nature que la poudre à canon.

Je crois que la poudre à canon est la meilleure composition pour le *tir* des projectiles. La plupart des compositions chimiques sont trop explosives,

trop brisantes. Une certaine faculté de combustion progressive est absolument nécessaire, lorsqu'on demande à la combustion de dégager des gaz, pour produire un effet de projection. Mais lorsque l'agent de combustion est destiné pour toute autre espèce d'obus que le Shrapnell, plus il est instantané plus il est avantageux, parce que ses effets sont plus brisants.

Je suis d'avis qu'on n'a pas accordé jusqu'ici une attention suffisante à l'opportunité de modifier la poudre suivant ses différentes applications. Scientifiquement, il semblerait que la rapidité de combustion de la poudre devrait varier, non-seulement pour les canons de chaque calibre, mais pour les canons de chaque longueur, en proportion de la résistance à vaincre, gravité ou frottement. Pour la projection, il serait peu judicieux de diminuer la rapidité de combustion de la poudre, en faisant varier les rapports de ses composants. Une combustion parfaite est une chose essentielle dans tous les cas où la poudre est employée comme agent de projection, parce que plus la combustion est imparfaite, plus la suie et les résidus solides sont abondants après le tir. Il s'ensuit, par conséquent, que le seul moyen praticable pour diminuer la ra-

pidité de combustion de la poudre qu'on veut employer comme agent de projection, consiste à augmenter la grosseur des grains. Comme à mesure que les canons augmentent de calibre, le poids de leurs projectiles augmente proportionnellement, comme les projectiles tirés dans les canons rayés, à poids égal et à surface de contact égale, sont plus justes dans le canon que les autres, théoriquement, les grains de poudre devraient aussi augmenter de volume. Pratiquement, cette conséquence est admise, comme cela résulte de l'usage d'employer pour les canons de la poudre à grains plus gros que pour les armes portatives et de même pour les canons rayés comparés aux canons non rayés de même calibre. Un gentleman qui a fait une étude toute particulière de la construction des canons rayés et de leur application, a, je le sais, émis publiquement l'opinion que pour les canons rayés, la poudre devrait être douée d'une plus grande rapidité de combustion. Cette opinion est tellement en contradiction avec la théorie, les idées générales et la pratique tout ensemble, que je ne puis comprendre comment il a pu y arriver. Elle est encore bien plus extraordinaire, lorsqu'on la rapproche de ce fait, que dans la pratique, ce gentleman est en contra-

diction avec l'opinion qu'il a publiée. Il a proposé une espèce spéciale de poudre pour ses armes rayées. Pour être conséquent avec l'opinion qu'il a avancée, les grains de cette poudre devraient être plus petits que ceux de la poudre ordinairement en usage en pareil cas, *tandis qu'ils sont plus gros*, et ils brûlent plus lentement, en proportion de leur augmentation de volume.

En admettant que la grosseur des grains de poudre doive avoir quelque rapport direct avec la résistance (poids ou frottement) que le projectile a à surmonter, il semblerait en résulter que les canons monstres à âme lisse et que les projectiles forcés dans les canons rayés ont à peine été éprouvés convenablement jusqu'ici. J'aurais voulu voir, par exemple, le gros mortier de M. Mallet essayé avec de la poudre ayant des grains au moins aussi gros que des fèves, et il reste encore à voir si la puissance des canons rayés de gros calibre ne serait pas augmentée et son emploi plus facilement mené à bonne fin, en adoptant cette espèce de munition.

Les canons Armstrong, quoique petits et construits avec la matière à peu près la plus résistante que connaissent les fabricants de canons, sont à peine assez forts pour supporter la puissance explo-

sive de la poudre à canon de service. Pour une raison ou pour une autre, les rapports des journaux *de re militari* représentent quelquefois la manière dont les canons se comportent dans les épreuves trop favorablement de moitié. Espérer qu'un correspondant de journaux soit un critique minutieux, ce serait trop demander; mais lorsqu'un canon éclate dans les épreuves, on pourrait penser qu'un correspondant, présent de temps en temps, en a été instruit.

Toujours d'étranges illusions d'optique ont lieu de temps à autre. Je ne me souviens pas, par exemple, d'avoir vu annoncé dans les comptes-rendus des journaux qu'un canon de M. Witworth éclata au troisième coup et pas un seul échantillon de son canon en fer ne dura jusqu'au dixième coup. Tous les journaux turent également ce fait, que deux canons Armstrong éclatèrent dans les épreuves. La vis de culasse dans l'un fut en partie chassée et dans l'autre la chambre fut brisée. Dans une de ces circonstances, la vie du général Peel fut sérieusement en danger.

Revenant maintenant à la proposition que les matières combustibles employées à la projection des mobiles doivent, pour développer leur plein

et entier effet, être graduées relativement à la durée de la combustion, tandis que (excepté dans le tir des Shrapnell) la substance la plus rapidement combustible et par conséquent la plus vivement explosive qu'on puisse employer est la meilleure, nous sommes conduits à examiner la question de savoir combien parmi les corps extraordinairement explosifs que les chimistes connaissent et en comparaison desquels la poudre à canon est une bagatelle, pourraient être utilisés, exclusivement, comme cela semblerait convenable, au moyen de projectiles creux polaires, comme les projectiles à rotation et les fusées.

Les fusées de guerre ont déjà été complètement décrites dans leurs différentes variétés. Elles peuvent être considérées sous deux points de vue: comme propres à produire un choc ou comme véhicules de projectiles creux. Les fusées employées dans notre service réunissent ces deux propriétés à peu près au même degré. Dans le service de l'Autriche, où les fusées de guerre sont employées en campagne beaucoup plus généralement qu'on n'a l'habitude de le faire ici, c'est surtout pour porter des obus qu'on les utilise. Les fusées de campagne autrichiennes sont armées chacune d'un obus

énorme relativement au diamètre de la fusée, cet obus est attaché à la tête de la fusée par des bandelettes en fer-blanc mince. Ces fusées sont tirées sous de grands angles et on se sert de tubes pour les lancer, mais ces tubes sont très-différents des nôtres. L'obus étant beaucoup plus gros que le tube, la fusée est engagée dans ce dernier la queue en bas, l'obus en dehors et s'appuyant contre la tranche extérieure du tube. On met le feu comme à l'ordinaire, et la fusée après avoir parcouru une distance peu considérable (pas plus de 300 ou 400 yards) tombe, se débarrasse de son obus, auquel elle a naturellement communiqué le feu et qui éclate après un temps calculé à l'avance. Telles étaient les fusées de campagne autrichiennes, mais il est à ma connaissance que le gouvernement autrichien est maintenant en marché avec un gentleman anglais pour l'acquisition et l'adoption d'une nouvelle espèce de fusée.

Depuis la dernière guerre, la construction des fusées de guerre à rotation a subi d'importantes modifications. Précédemment j'ai donné un dessin de la fusée à rotation de Hale, telle qu'elle existait alors. A présent, les ouvertures tangentielles sont réduites à deux, mais le point important en ce qui

les concerne, c'est que au lieu d'être placés à la partie partie postérieure, ils correspondent maintenant au centre de la fusée, ou pour parler plus exactement, ils sont dans le plan perpendiculaire à l'axe passant par le centre de gravité de la fusée. Maintenant, on met le feu aux fusées modifiées de Hale, non plus par l'extrémité, mais par une des ouvertures médianes, d'où le feu se communique à toute l'âme de la fusée.

Si l'on en jugeait par ce qui a été dit déjà, on pourrait peut-être supposer qu'il n'y a qu'une âme ou vide central ; mais il n'en est pas ainsi. On peut donner une idée exacte de la construction de la nouvelle fusée de Hale, en disant qu'elle consiste en deux fusées réunies, ayant le même axe et simplement séparées par un diaphragme en fer percé d'une lumière. Chacune de ces fusées dont l'ensemble constitue la fusée composée, a sa fonction spéciale. Celle qui est antérieure est exclusivement destinée à fournir des gaz pour alimenter les ouvertures tangentielles ; celle qui est postérieure, a pour fonction unique de développer les gaz qui servent à la propulsion. La lumière pratiquée dans le diaphragme transversal sert à dispenser de mettre le feu en deux endroits de la fusée.

Quelques expériences ont été faites récemment pour se rendre compte des effets des fusées tirées sous l'eau et dont l'enfoncement est réglé par un flotteur. Il paraîtrait qu'on peut avec raison beaucoup espérer de l'effet des fusées employées de cette façon. Il n'y a pas de doute que dans l'éventualité d'une autre guerre maritime, on ferait des tentatives pour avarier les vaisseaux ennemis sous la ligne de flottaison. On emploierait probablement dans ce but des fusées sous-marines, et les machines infernales sous-marines imaginées par les Russes, atteindraient, il y a lieu de le penser, un degré d'efficacité dont ceux qui en jugent par le mal qu'elles ont fait jusqu'ici, n'ont qu'une faible idée.

Je ne sais pas si on a fait des expériences sur la pénétration des projectiles oblongs à rotation, tirés au-dessous de l'horizon contre un objet sous l'eau. Un boulet de 68 tiré sous un angle de 20° au-dessous de l'horizon pénètre à peine de 2 pieds dans l'eau. Il y a des motifs de croire que les projectiles oblongs à rotation seraient plus efficaces contre un but sous-marin. L'éventualité d'un obus pénétrant dans un vaisseau sous la ligne de flottaison et y éclatant ensuite, n'a

pas encore été regardée comme possible. Avec les canons ordinaires et les boulets sphériques, la chose est certainement impossible. Il reste à voir encore, si un pareil résultat est impossible dans la condition différente d'un projectile allongé tiré avec un canon rayé.

§. BATTERIES FLOTTANTES CUIRASSÉES.

Admettant comme un fait, que les batteries de terre de première classe ne peuvent être contrebattues avec efficacité par aucun des canons entrant actuellement dans l'armement des vaisseaux, à une distance de plus de quatre ou cinq cents yards, tandis que les bâtimens en bois peuvent être détruits par les batteries de terre d'infiniment plus loin, il est naturel de se demander, si les vaisseaux peuvent être rendus inexpugnables au moyen de plaques en fer.

Je crois qu'il est généralement admis que si on adoptait cette méthode, il faudrait ne l'appliquer qu'à des bâtiments spécialement construits pour cela, et que, par exemple, cuirasser un vaisseau de ligne ou une frégate des modèles actuels, ce serait les rendre trop lourds. Je crois qu'il est admis que

leurs propriétés comme voiliers ou comme vapeurs en seraient fortement altérées, qu'ils deviendraient trop lourds et d'une manœuvre difficile, bien plus, qu'ils ne satisferaient plus suffisamment aux conditions d'équilibre nécessaires. Par suite le principe de la cuirasse, pour réussir, devra être appliqué à des vaisseaux d'une nature spéciale.

Quel serait le type de ces bâtiments? Devraient-ils conserver quelque analogie avec les vaisseaux actuels pour la forme et l'assiette? Ou bien serait-il plus avantageux, en vue du rôle qu'ils sont appelés à jouer, qu'ils en différassent tout à fait? A cet égard, l'expérience acquise pendant ces dernières années nous fournit quelques données.

Les batteries flottantes dont les Français prirent l'initiative et que nous avons imitées ont été exactement construites sur le modèle des vaisseaux ordinaires. Elles ont été plus ou moins cuirassées; elles ont été construites avec des sabords comme ceux des vaisseaux ordinaires dont elles ne diffèrent que par l'aspect du pont qui est en forme de voûte. On espérait qu'en conservant autant du modèle ordinaire de la marine, on pouvait compter sur une vitesse considérable à la voile ou à la vapeur, et que malgré le poids que les plaques ajoutaient à la partie

supérieure, on pourrait conserver une stabilité raisonnable.

Tel n'a pas été le résultat. Ces batteries flottantes cuirassées ont marché le plus mal possible, tant à la voile qu'à la vapeur. Elles ont reculé si fortement qu'il n'a pas été possible de disposer leur artillerie convenablement et de tirer avec précision. L'espérance qu'elles seraient capables de lutter contre l'effort ordinaire du vent et des vagues a été totalement déçue. Construites pour satisfaire à beaucoup de conditions, elles n'en ont rempli aucune convenablement. L'adoption du modèle des vaisseaux ordinaires ne leur a conservé aucun des avantages propres à ces vaisseaux, et en les considérant comme de simples batteries (plates-formes supportant les canons et sur lesquelles ils doivent être exempts, pour le bon effet du tir, autant que la science le comporte, de l'agitation des flots), elles sont tellement défectueuses qu'aucun changement de forme ne pourrait les faire dégénérer. Voilà donc un beau champ ouvert aux expériences.

Une grande partie de la stabilité d'un vaisseau ordinaire, ou en d'autres termes de sa puissance à résister avec succès au roulis, au tangage et aux autres perturbations dues à l'effet du vent et des va-

gues, dépend de ses voiles. Maintenant, c'est presque une nécessité que les batteries flottantes cuirassées soient dépourvues de voiles. En gardant le type des vaisseaux, elles doivent nécessairement être instables; mais la géométrie suggère des formes qui présenteraient peut-être même plus de stabilité que n'en a le vaisseau le mieux arrimé. Pourquoi ne pas les adopter?

« Parce que leur adoption serait incompatible avec une marche rapide, » peut-on dire. Mais les batteries flottantes ne peuvent aller rapidement ni à la voile, ni à la vapeur, telles qu'elles sont, et de plus, elles sont extrêmement peu sûres, lorsqu'il y a le plus léger gros temps. Un corps flottant de quelque forme qu'il soit, peut toujours être poussé à travers les flots, d'une manière ou de l'autre. Donnez une force de propulsion suffisante et une faculté de locomotion dans une mesure très-restreinte, et il me semble que nous aurons tout ce qu'on peut attendre raisonnablement d'une batterie flottante. Elles ressemblent à des tortues par la forme de leur carapace, et au fond, elles doivent aussi ressembler à des tortues par la lenteur de leur marche.

Ménager à une batterie flottante des moyens de s'échapper par une course rapide, ne semble pas

autre chose qu'un manque de foi dans le principe et le but de sa constructio . qui est de défier le choc de toutes espèces de projectiles qui peuvent être tirés contre elle par les engins de projection. Elles sont construites pour cette fin, et si elles ne peuvent pas la remplir, elles auraient dû rester dans le néant. Alors, au lieu d'être l'orgueil et le triomphe de la science nautique moderne, elles en seraient la risée et la honte. Je me souviens que regardant un jour la frégate « le *Crocodile* » avec un ami, marin de profession, il me dit qu'elle appartenait à la classe des frégates baudets, expression si nouvelle pour moi que je demandai une explication. « Une frégate baudet, » me répondit mon ami, « est une frégate qui ne peut ni avancer, ni reculer. » Il paraît donc que la cuirasse n'est pas indispensable à la construction de ce genre particulier de navire, et quoique une batterie flottante puisse et doive même être capable de se passer de tout moyen de fuir, il faudrait pourtant contrairement à l'habitude et au caractère de la frégate *Baudet*, qu'elle fut en état de se battre.

Cavalli, de l'artillerie sarde, dont les canons rayés ont déjà été cités, propose une espèce de batterie flottante qui doit nécessairement posséder au moins de

la stabilité en mer, comme la figure (45) qui en montre le fait voir.

Cette batterie cuirassée ne serait pas assurément un fin et rapide navire ; mais on pourrait s'arranger de manière à ce qu'elle eût une marche passable, et elle ne courrait pas plus de risque de sombrer dans un coup de vent, que les enfants qui jouent sur les sables de Godwin.

De plus, pour ce qui est de sa forme, la courbure de ses œuvres supérieures présente les conditions les plus favorables, contre les projectiles arrivant tangentiellement ; et comme le fer qui constitue ces œuvres est ondulé, elle n'en est encore que mieux protégée contre les feux tangentiels.

Supposons qu'une batterie flottante de cette espèce, absolument à l'épreuve des projectiles, quels qu'ils soient, en vienne aux prises avec l'ennemi, il y a lieu d'examiner les chances de dommages occasionnés par les boulets ou les obus arrivant par les sabords. Tant que les ressources du tir horizontal (1) resteront ce qu'elles sont à présent, une batterie flottante comme celle-là, sera quelque chose de plus « qu'un point à l'horizon. » Il faudrait

(1) S'il s'agit de feux verticaux, l'enveloppe en fer est à rejeter.

qu'elle prît position à une distance moindre que 1000 yards, je crois même *beaucoup* moindre. Les sabords présenteraient un but assez large pour qu'il ne fût pas à dédaigner ; même avec les canons ordinaires. Mais avec l'artillerie Armstrong, on peut atteindre un but de deux pieds carrés, coup sur coup. On en aurait donc bientôt fini avec la batterie. Mais Cavalli propose de supprimer complètement les sabords, tels qu'ils sont aujourd'hui. Il y parviendrait en introduisant l'usage des canons rayés se *chargeant par la culasse.* Grâce à l'adoption de ce principe, l'artillerie n'aurait besoin que d'un petit trou rond et rien de plus pour voir au dehors ; et le recul des canons étant supprimé par des expédients convenables, on ne serait plus exposé à l'incommodité de la fumée séjournant dans les entreponts (1).

(1) Question. S'il était possible, compatible avec la résistance de l'artillerie rayée, d'empêcher son recul, ne serait-il pas plus profitable de s'en servir tout de suite à bord des édifices flottants, contre les fortifications et sous un grand angle comme les mortiers. L'idée d'un « point dans l'Océan » pourrait alors être réalisée, et on pourrait obtenir des portées fabuleusement longues avec des obus à rotation faisant fonction de bombes.

§ DE L'APPLICATION DES RESSOURCES DE LA CHIMIE AU CHARGEMENT DES PROJECTILES CREUX.

Voici un sujet sur lequel il est permis à un chimiste de spéculer plus en liberté que sur les vieux principes techniques de la science des projectiles.

Dans un autre endroit, j'ai dit conformément aux convictions auxquelles j'arrive forcément, que s'il est permis de faire la guerre, il est permis aussi d'y employer le genre et le degré de force qui paraissent le mieux concourir au but qu'on se propose, qui est la destruction de l'ennemi.

S'il était conséquent avec les idées de la guerre civilisée de tuer ses adversaires à tout évènement, alors il incomberait au belligérant civilisé de se servir du mode le moins désagréable de tuer; mais comme il est toujours facultatif à un ennemi de se rendre, je ne puis m'empêcher de penser que c'est une inconséquence de logique philantropique qui conduit à la conclusion qu'un belligérant ne peut pas à son gré adopter tel moyen de destruction qui lui convient.

Les gouvernements en viennent à considérer les choses sous ce point de vue, et s'il en était autre-

ment, ils seraient bien forcés d'en rabattre quelque peu de leurs scrupules, par l'exemple des insurgés des nations continentales, qui moins scrupuleux, dans quelque prochaine guerre de barricades, se serviraient des ressources de la chimie dans la plus large mesure possible.

Me trouvant maintenant engagé avec une autre personne dans des expériences sur de nouvelles formes d'obus incendiaires et explosifs, je pourrai probablement dans peu de temps faire connaître le résultat de nos recherches. En attendant, je voudrais prémunir le lecteur contre la croyance folle et nuisible, qu'il peut y avoir là quelque secret radical ou nécessaire. Il peut arriver à un inventeur de faire une combinaison particulière de composants, ou d'appliquer au chargement des projectiles creux, des matières qui n'ont pas été appliquées avant lui ; mais après tout, la sphère d'application est réduite à des proportions, qu'une personne non familière avec ce sujet ne se serait jamais figurées.

Les particularités organiques d'un obus de canon, d'un agent quelconque de destruction, ne peuvent longtemps rester secrètes de nos jours; et en Angleterre l'absurde secret dont on a entouré le canon Armstrong, l'arrestation d'un dessinateur, le soin

qu'on avait pris de cacher le canon sous une toile, les entraves imposées aux militaires même pour les empêcher de le voir, sont des choses bonnes seulement à provoquer le rire.

Un membre du corps médical est bien excusable de considérer avec une certaine défaveur toutes les recettes merveilleuses ou les secrets scientifiques. Il y a beaucoup trop de prétentions en jeu, et je dirai même de plagiat d'idées pour tout ce qui a rapport aux nouveaux projectiles et à leur construction. Il n'est pas convenable que quelqu'un publie ou laisse publier qu'il est le seul possesseur d'un secret, quand il sait qu'il l'a puisé ailleurs.

Sur ce point, j'ai une réclamation à faire. Un gentleman qui a travaillé la question des projectiles explosifs et aux travaux duquel j'ai souvent rendu un honorable témoignage, a permis l'annonce suivante ou a été victime de la publication de cette annonce qui lui est inconnue. Je vois qu'on fait savoir qu'un gentlemann a la possession exclusive du secret, de ce qu'il appelle sa « charge de feu liquide. » Comment? c'est moi qui lui ai dit le premier comment on prépare ce feu liquide; bien plus, je lui en ai donné un échantillon, et le sou-

venir de la manière dont je l'ai fait devrait être gravé dans sa mémoire.

« Surtout ne le mettez pas dans votre poche, lui dis-je, portez-le à la main, parce que s'il s'en échappait un peu vous brûleriez infailliblement. » Il s'en alla promettant bien de tenir compte de l'avis; mais craignant de se faire remarquer, j'imagine, il mit la bouteille dans sa poche (une poche de derrière, heureusement) et poursuivit son chemin. Alors, il s'échappa un peu de liquide et il arriva ce que j'avais prévu. Le pan d'habit du galant gentleman prit feu, et on le vit alors courant à travers les rues comme un météore ou plutôt comme une comète. Si cette circonstance ne lui remet pas en mémoire ce qui s'est passé, il faut qu'il soit très peu impressionnable. Mais, je dois croire, jusqu'à preuve du contraire, que le gentlemann dont je veux parler, n'a pas connaissance de l'annonce en question.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

Il est peut-être à propos maintenant de présenter un résumé des principales propositions qu'on a

essayé d'établir dans le cours des pages qui précèdent.

1° que tous les changements organiques apportés aux projectiles et aux moyens de les lancer, depuis la paix de 1815 — de même que tous les changements correspondants proposés ou adoptés pour le service de la marine militaire ou pour celui des côtes — découlent principalement, premièrement de l'adoption du système incendiaire Paixhans ou système à obus, et, secondement de la propagation générale des armes portatives rayées.

2° que la portée pure et simple d'un projectile est un avantage auquel le public a attribué des mérites disproportionnés. Que même dans le cas des armes portatives rayées, on ne pense pas qu'il soit à désirer maintenant qu'on utilise les plus longues portées correctes qu'on puisse obtenir. Que le mérite des longues portées dans le cas des canons, n'a de valeur qu'autant qu'il se combine avec une force de choc, ou une puissance incendiaire ou explosive correspondante. Que la force de choc suffisante pour agir contre la charpente des vaisseaux pourrait bien n'être d'aucun effet contre les forteresses de première classe à terre. Qu'une artillerie rayée de 3/4 pouces de calibre, quelle que puisse être sa

portée, ne peut pas tirer un obus contenant une quantité de poudre suffisante pour détruire des forteresses comme Cronstadt, Gibraltar et Cherbourg. On admet qu'un obus de peu de capacité peut, à de grandes distances, mettre le feu à des maisons, à des magasins, etc. ; mais on a donné à entendre que les limites imposées par la condition de résistance de la matière sembleraient devoir empêcher l'artillerie rayée se chargeant par la culasse de dépasser de beaucoup le calibre actuel.

3° On a avancé que bien que le tir horizontal doive être employé, par exemple, de vaisseaux à vaisseaux, et par les forteresses à terre contre les vaisseaux ; cependant les grandes forteresses devront par la suite être réduites par les feux verticaux partant des vaisseaux. On a donné à entendre que l'artillerie actuellement en usage pour les feux verticaux (les mortiers) serait beaucoup au dessous d'une artillerie rayée de gros calibre, tirée sous l'angle donnant la trajectoire la plus élevée, si on pouvait toutefois faire une artillerie rayée de gros calibre, assez résistante pour supporter l'effort général particulier à ce genre de tir. On prétend que c'est par cette méthode seule que les avantages des longues portées pourront être complétement

utilisés à bord ; que les feux verticaux (toujours assez précis pour agir contre un but spacieux et fixe) sont totalement inefficaces contre un vaisseau à grande distance, et surtout contre un vaisseau en mouvement. On a appelé l'attention sur les avantages présumés, particuliers à la polarité des obus tirés avec des canons rayés et dirigés verticalement, avantages particuliers à leur principe, et qu'ils ne partagent avec aucune autre espèce d'obus.

On admet qu'il ne faut jamais compter avec les feux horizontaux des vaisseaux, pouvoir emporter une forteresse de première classe, si la garnison n'est pas surprise ; et, si elle est pourvue d'une artillerie égale en puissance à celle des vaisseaux attaquants.

INSTRUCTION

SUR

L'EMPLOI DU CHRONOGRAPHE A INDUCTION,

(PENDULE CONIQUE)

DANS LES EXPÉRIENCES BALISTIQUES.

Par **Martin de Brettes**, chef d'escadron d'artillerie, professeur de sciences appliquées à l'école d'artillerie de la garde-impériale.

Il serait à désirer qu'on s'occupât d'un moyen facile et exact de calculer la vitesse initiale.

Manuel d'Artillerie 1836.

LOUIS-NAPOLÉON BONAPARTE.

Avec planche.

Avant de décrire cet appareil et les dispositions à prendre pour l'employer dans les expériences balistiques, il m'a paru utile :

1° De reproduire une note sur *l'induction magnétique ;*

2° De décrire les machines à induction, et d'exposer les conditions de leur établissement ;

3° De faire connaître les principes généraux de l'établissement des enregistreurs, où est l'étincelle d'induction l'agent graphique que j'ai proposé, dès 1857, de substituer aux styles mus par des électro-aimants jusqu'alors en usage.

CHAPITRE PREMIER.

Notions générales sur l'induction magnétique.

§ 1. — *Des courants d'induction.*

Le rôle important et souvent capital que jouent les courants d'induction dans certains appareils électro-dynamiques, nous ont engagé à rappeler ici leurs principales propriétés. Leur connaissance est d'une utilité indispensable pour se rendre compte de certains effets qui paraissent anormaux et éviter les mécomptes dans la création et l'emploi des appareils électro-dynamiques.

En 1832, M. Faraday découvrit qu'un courant électrique et un aimant peuvent développer, à distance et par influence, des courants électriques dans un conducteur, comme l'électricité statique d'un corps électrisé, par influence, un conducteur isolé.

Voici comment on obtient ce résultat remarquable. On enroule sur un cylindre de bois ou de verre deux fils métalliques recouverts de soie de manière à former deux hélices semblables dont les

spires soient parallèles et aussi rapprochées que possible. On fait communiquer les deux bouts de l'un des fils avec ceux du galvanomètre, et les deux bouts de l'autre avec les deux bouts de la pile. Au moment où l'on ferme le dernier circuit, le précédent étant supposé fermé, ont voit l'aiguille du galvanomètre se dévier ; mais cette déviation cesse aussitôt, même lorsque le courant de la pile n'est pas interrompu. Dès qu'on interrompt de nouveau ce courant, l'aiguille du galvanomètre éprouve une seconde déviation également subite et passagère; mais cette seconde déviation a lieu en sens contraire de la première.

Ainsi le courant voltaïque, qui traverse l'un des fils, détermine dans l'autre un courant instantané à l'instant où il commence à passer, et un second à l'instant où il est interrompu. Ces deux courants instantanés sont nommés *courants induits*, et le courant de la pile qui les produit est nommé *courant inducteur*. Le premier courant induit, c'est-à-dire celui qui résulte de la fermeture du courant de la pile, est de sens contraire à celui du courant inducteur, et le second courant induit, déterminé par la rupture du circuit inducteur, a le même sens que ce dernier.

Nous avons supposé deux conducteurs voisins et fixes, mais si au lieu de deux fils enroulés en hélice il n'y en a qu'un dont les extrémités communiquent avec celles du fil d'un galvanomètre, et qu'on introduise subitement dans le cylindre creux une bobine électro-dynamique, c'est-à-dire une hélice parcourue par un courant électrique, puis qu'on la retire rapidement, on remarquera qu'à l'instant de l'introduction de l'hélice il se manifeste dans l'hélice extérieure un courant d'induction contraire à celui de la bobine introduite, et, à l'instant où l'on retire l'hélice, qu'il se produit dans la bobine extérieure un second courant de même sens que celui de cette hélice. Pour rendre sensibles ces courants d'induction, il faut introduire et retirer très-brusquement l'hélice électro-dynamique.

L'analogie existant entre les propriétés des aimants et celle des hélices électro-dynamiques, fit supposer à M. Faraday que l'on obtiendrait des résultats semblables à ceux de l'expérience précédente, si l'on introduisait dans la bobine un aimant au lieu d'une hélice électro-dynamique; l'expérience justifia complètement la prévision de l'illustre physicien anglais.

Cette expérience explique pourquoi l'introduc-

tion d'un cylindre de fer doux dans une double bobine inductrice et induite, rend plus énergiques les courants d'induction ; c'est que le courant inducteur de l'hélice inductrice, tout en produisant un courant d'induction, aimante le fer doux qui agit lui-même pour produire un autre courant d'induction qui s'ajoute au précédent. De même quand le circuit inducteur cesse, le fer doux étant désaimanté, il y a développement d'un second courant induit qui s'ajoute aussi à celui provenant de la suppression des courants inducteurs.

Ainsi un courant se développe dans un circuit fermé quand un autre circuit parcouru par un courant s'en approche ou s'en éloigne. Quand un circuit fermé est voisin d'un autre circuit, dans lequel on fait passer ou cesser spontanément un courant, il s'en développe aussi un dans le circuit fermé. On peut, dans ce second cas, considérer la naissance des courants dans les circuits fermés comme provenant de l'approche ou de l'éloignement d'un courant ou d'un aimant avec une vitesse infinie.

Les effets d'induction et le sens des courants se trouvent alors compris dans la formule suivante,

nommée *loi de Lenz*, du nom du physicien qui l'a trouvée.

« Le sens du courant, développé par une induction électro-dynamique ou électro-magnétique dans un circuit, est tel qu'il produirait par réaction sur le circuit ou sur l'aimant inducteur un mouvement de ce circuit ou de cet aimant, inverse de celui qu'on lui a imprimé par une force extérieure, afin de produire le phénomène. »

Ou encore :

« Le sens du courant, développé par une induction électro-dynamique ou électro-magnétique dans un circuit induit, est tel que, si ce courant existait naturellement, sa réaction sur le courant inducteur produirait une force opposée à celle qu'a produite le mouvement imprimé à l'aimant ou au circuit mobile. »

On remarque donc, entre les phénomènes de courants appartenant à l'induction et les phénomènes de mouvements propres à l'électro-dynamique, une relation de réciprocité. Car, si un courant existe dans les deux circuits, leur réaction mutuelle produit un mouvement, et par conséquent un travail mécanique extérieur ; si le courant existe dans un premier circuit et qu'un travail mécanique

extérieur le mette en mouvement, ce mouvement produit dans le second circuit un courant et une réaction mutuelle entre les deux circuits.

« Un phénomène de courant se transforme donc en un travail mécanique, et un travail mécanique en un phénomène de courant. Rien ne se crée, rien ne se perd, et l'on n'entrevoit guère jusqu'ici, entre les phénomènes d'induction et les autres phénomènes de l'électricité dynamique, d'autre lien rationnel que ce principe général, qui conserve ici une forme toute métaphysique, par suite de notre ignorance absolue des causes mécaniques de l'électricité (1). »

§ 2. *Courants de divers ordres.*

Les courants induits directs et inverses, agissant pendant un intervalle de temps très-court, fonctionnent à leur tour comme courants inducteurs et produisent, chacun dans un circuit induit, deux courants qui se succèdent presque instantanément, l'un d'induction commençante, l'autre d'induction finissante.

La série de ces courants induits de divers ordres

(1) Cours de physique de l'École polytechnique.

pourrait être représentée par une série de courbes dont les abcisses représenteraient les temps, et les ordonnées positives ou négatives, l'intensité des courants directs ou inverses.

On peut se rendre compte des particularités de forme de ces courbes par les considérations suivantes : $I = \varphi(t)$ étant l'intensité actuelle du courant inducteur quelconque, ce sont les changements d'intensité qui sont la cause électro-magnétique du courant induit. On peut donc, quelle que soit la loi entre la cause et l'effet, supposer, au moins comme première approximation, l'intensité du courant induit proportionnelle à la vitesse de changement du courant inducteur, de sorte que cette vitesse étant $\frac{di}{dt}$ on a $i = k \frac{di}{dt} = k \varphi'(t)$ qui devient nulle quand $\varphi(t) = 0$ ou généralement quand la courbe de I passe par des *maxima ou des minima.* Elle devient *maxima* ou *minima* quand $\frac{di}{dt} = 0$ ou $\varphi''(t) = 0$ ce qui correspond aux points d'inflexion de la courbe d'intensité de *i*.

§ 3. *Effets statiques des courants d'induction.*

Un courant inducteur ne détermine pas seulement dans le conducteur soumis à son influence un

courant induit, mais il peut déterminer des effets très-prononcés d'électricité statique, tels que : les étincelles à distance dans l'air ; la charge d'un condensateur; la décomposition de l'eau, en donnant des mélanges de gaz oxygène et hydrogène ; la déviation du galvanomètre ; l'aimantation ; l'incandescence des fils de platine ; la production de fortes commotions, etc. ; de telle sorte que le courant d'induction est entièrement transformé en électricité statique. Ce fait important, signalé par M. Faraday, a été constaté par des expériences faites sur une très-grande échelle par MM. Masson et Breguet.

On n'avait d'abord obtenu l'induction électrodynamique qu'en se servant de courants électriques. Mais un physicien des États-Unis, M. Henry, remarquant que des courants instantanés produisaient des courants induits, pensa que des décharges électriques, par exemple, celles d'une bouteille de Leyde, pourraient aussi en développer. Il réussit en effet, mais en prenant beaucoup de précautions pour isoler les uns des autres les fils en spirales, au moyen de la soie et de la gomme laque, et en séparant par du verre la spirale inductrice de la spirale induite. Il obtint aussi des courants induits de divers ordres, ayant, à l'égard les uns

des autres, la même direction que si l'induction primitive résultait du courant d'une pile.

§ 4. *Induction d'un circuit sur lui-même.*

Jusqu'ici on a supposé deux conducteurs : l'un destiné à produire le courant inducteur; l'autre dans lequel se développe le courant induit sous l'influence du premier. L'expérience a montré que le phénomène d'induction peut se manifester avec un seul conducteur, dans lequel on transmet le courant inducteur et on reçoit le courant induit; c'est cette forme particulière d'induction qu'on nomme *induction d'un courant sur lui-même.*

M. Faraday, à la suite de longues expériences sur ce phénomène, est arrivé à démontrer que si l'on rompt le circuit d'un seul couple formé par un long fil de cuivre, on produit aussitôt dans ce fil un *extra-courant* qu'on peut percevoir directement, en fixant à chacun des bouts du fil un appendice ou une plaque en cuivre, et en réunissant ces deux plaques par divers conducteurs. Un fil de platine est rougi et fondu, l'eau est décomposée et l'aiguille aimantée déviée au moyen du courant transmis entre les deux appendices.

Si le conducteur qui réunit les appendices est imparfait, alors il se produit une étincelle très-brillante au point où l'on interrompt le circuit; elle est au contraire presque nulle s'il est bon. Cela vient de ce que, dans le premier cas, l'extra-courant développé dans le long fil qui réunit les pôles de la pile, achève son circuit à travers la pile elle-même, puisqu'il ne peut passer ailleurs, tandis qu'il l'achève dans le second à travers le corps qui unit les deux appendices, vu que ce corps se trouve être un bon conducteur. Cet extra-courant peut donner naissance à une étincelle entre les appendices, quand on les rapproche presque en contact, et si on les tient dans les mains, on éprouve une forte commotion.

L'énergie de l'extra-courant est beaucoup plus prononcée quand le conducteur interpolaire est enroulé en hélice, surtout si l'on met dans l'intérieur un cylindre de fer doux. Cette circonstance et d'autres encore montrent que l'extra-courant est bien un courant d'induction, avec cette seule différence qu'il est développé dans le circuit même où passe le courant induit. L'action mutuelle des hélices les unes sur les autres, dont chacune sert à la fois de corps inducteur et de corps induit, et l'in-

fluence du fer doux, qui, aimanté par le courant inducteur, augmente ainsi l'intensité de ce courant induit, sont tout à fait d'accord avec toutes les conditons essentielles de l'induction, aussi bien que la direction même de l'extra-courant qu'on peut apprécier, soit par la décomposition chimique, soit par l'effet galvanométrique. Cette direction, en effet, est telle que, dans le circuit formé par le long fil qui unit les plaques du couple et par le conducteur qui unit les deux appendices, l'extra-courant passe dans le long fil en suivant le même sens que dans le courant du couple lui-même.

Il ne faut pas oublier que le courant induit, ou extra-courant dont il s'agit, est celui qui se produit au moment où le circuit est interrompu, et non au moment où il est établi.

Cet extra-courant est de même sens que le courant inducteur, tandis que le courant induit, obtenu au moment de la fermeture du courant inducteur, allant en sens inverse, ne peut être perçu parce qu'il circule dans le même circuit que le courant du couple.

CHAPITRE II.

1. DES MACHINES D'INDUCTION.

§ 1. — *Description générale des machines d'induction.*

La machine d'induction se compose essentiellement de trois parties, savoir : d'un barreau de fer doux, d'une bobine de fil de cuivre gros, court et isolé, à laquelle le fer sert de noyau ; enfin, d'une seconde bobine très-concentrique à la précédente et formée avec un fil de cuivre fin, très-long, et parfaitement isolé.

La bobine intérieure composée de gros fil est la ***bobine inductrice***, la bobine extérieure est la ***bobine induite***.

Les extrémités ou pôles de la bobine inductrice sont mis en communication avec ceux d'une pile, quand on veut faire fonctionner l'appareil. Le circuit électrique ainsi formé est le ***circuit inducteur***, et le courant qui le traverse est le ***courant inducteur***.

Aux extrémités ou ***pôles*** de la bobine induite

s'attachent deux fils, qui, selon les cas, sont réunis ou restent à distance. Ils constituent avec la bobine le *circuit induit* ou *circuit d'induction*, qui sert de véhicule au courant induit, ou *courant d'induction*, manifesté chaque fois que l'on ferme ou que l'on rompt le circuit inducteur.

Le courant d'induction qui a lieu lors de la rupture du courant inducteur, est désigné par l'expression : *courant direct d'induction*. Il est ainsi nommé parce qu'il a le même sens que le courant de la pile qui passe dans la bobine inductrice. Le courant d'induction provenant de la fermeture du circuit étant dirigé en sens inverse, a reçu le nom de *courant inverse d'induction*.

Il est important de remarquer que le courant direct d'induction est beaucoup plus énergique que le courant inverse.

§ 2. — *De l'étincelle d'induction.*

Lorsque les deux extrémités des fils métalliques, attachées aux pôles de la bobine induite, sont rapprochées à une petite distance, on voit jaillir entre elles une étincelle dont la durée est très-courte, chaque fois qu'on interrompt le circuit inducteur,

Cette étincelle nommée ***étincelle d'induction***, se compose de deux parties distinctes qu'on voit parfaitement à la loupe et même à l'œil nu, savoir : d'un dard de feu cylindrique éblouissant, et d'une atmosphère concentrique moins lumineuse. M. le vicomte du Moncel, qui a fait cette distinction, a reconnu que l'atmosphère lumineuse était sensible au vent d'un soufflet, mais non le cylindre de feu intérieur, dont je fais une application comme agent enregistreur.

§ 3. — *Propriétés mécaniques et chimiques de l'étincelle d'induction.*

Cette étincelle instantanée est douée d'une énergie considérable, qui lui permet de percer des corps très-durs tels que le verre, par exemple. On conçoit alors qu'elle pourra parfaitement traverser une feuille de papier, ce qui suffit à l'objet que je me propose. Rien n'est plus facile que de s'en assurer par l'expérience.

Il suffit, en effet, d'appliquer une feuille de papier sur une plaque métallique, de cuivre, par exemple, en communication avec un pôle de la bobine induite, le pôle positif de préférence, et de promener au-dessus, au contact ou à une petite

distance, l'extrémité du rhéophore en relation avec l'autre pôle. On verra, alors, une étincelle jaillir de la pointe mobile chaque fois que l'on interrompra le circuit inducteur de la pile. Si l'on examine ensuite le papier, on verra qu'il est percé de petits trous nets et visibles à l'œil nu, si la pile a une force suffisante.

Chacun de ces petits trous est la trace laissée par l'action mécanique et chimique d'une étincelle d'induction lors de son passage à travers la feuille de papier ; le lieu géométrique de ces traces, qui peut être quelconque, représente la courbe absolue ou relative décrite par la pointe du rhéophore.

On facilite beaucoup la production de ces traces d'étincelles, en préparant le papier de manière à réduire sa résistance au passage de l'électricité. La préparation qui m'a le mieux réussi est très-simple. Elle se réduit à plonger le papier pendant quelques minutes dans une dissolution de cyano-ferrure de potassium, et à le faire sécher avant de l'employer.

Il est bon de remarquer que la pointe mobile doit toujours être réunie au *pôle externe* de la bobine induite. Il paraît aussi y avoir avantage à donner au courant une direction telle que ce pôle soit négatif.

II. — Conditions d'établissement de l'appareil d'induction de Ruhmkorff.

La construction des appareils d'induction influe beaucoup sur l'énergie des courants induits. On peut à ce sujet établir une analogie entre ce qui se passe dans la production de ces courants et dans celle des courants ordinaires provenant des couples.

On sait, en effet, que lorsqu'on réunit plusieurs éléments de pile par les mêmes pôles pour former un élément d'une grande surface, ou bien par des pôles contraires de manière à former une série de couples, les courants obtenus sont très-différents. Dans le premier cas, les éléments sont attelés pour produire *l'électricité de quantité*, dans le second, ils produisent un courant d'une *grande tension*, c'est-à-dire capable de vaincre de grandes résistances.

Les appareils à induction, l'appareil de Ruhmkorff, par exemple, peuvent de même donner des courants induits de quantité ou de tension, selon leur construction ; ainsi, un appareil à bobine induite, dont le fil est court, produit un courant d'induction d'une faible tension, capable seulement de circuler dans des conducteurs interpolaires métalliques et continus, de dévier le galvanomètre.

Un appareil dont le fil de la bobine induite serait long et très-fin, la bobine inductrice à fil gros et court restant toujours la même, produirait au contraire un courant induit doué d'une très-grande tension et capable de vaincre de grandes résistances interpolaires, telles que des circuits discontinus pour produire des étincelles, ou de mauvais conducteurs, comme le corps humain, pour produire certains effets physiologiques.

Il est facile de se rendre compte de ces phénomènes, si l'on considère la bobine induite du premier cas, comme la réunion par les extrémités semblables d'un grand nombre d'hélices à fil fin, dans lesquelles le courant inducteur développerait des courants induits égaux ; car, dans le premier cas, toutes ces hélices ou éléments électro-dynamiques seraient réunies par les extrémités semblables pour former le fil gros et court, et dans le second, en série, par les extrémités dissemblables de manière à former le fil fin et long. On peut construire un appareil qui produise ce double résultat à volonté, ce qui confirme l'analogie entre l'influence de l'arrangement des éléments électro-dynamiques ou électro-moteurs dans ces appareils et les piles.

Ces considérations sont importantes pour se décider sur le choix de l'appareil d'induction qu'il est préférable d'employer dans les expériences qu'on se propose de faire.

CHAPITRE III.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES CHRONOGRAPHES A INDUCTION.

§ 1. — *Principes fondamentaux.*

Les chronographes et enregistreurs à induction sont fondés sur :

L'emploi d'un agent enregistreur sans inertie, savoir, l'*étincelle d'induction*, pour déterminer à un instant quelconque, la position d'un rhéophore sur sa trajectoire absolue ou relative, *et cela sans l'arrêter ou modifier son mouvement* ;

L'emploi d'une surface susceptible d'être nettement impressionnée ou traversée par l'étincelle, pour mettre en évidence la trace que cette étincelle a faite à son passage. J'ai jusqu'ici employé comme récepteur des traces d'étincelles, le papier ordinaire ou préparé comme on le verra plus loin.

L'action graphique de l'étincelle s'y manifeste par un petit trou noir très-net et très-visible (1).

§ 2.—*Objet général des chronographes à induction.*

L'objet général des chronographes à induction est :

D'enregistrer l'instant où se produit un effet mécanique par la trace nette et visible d'une étincelle d'induction jaillissant à propos ;

De représenter graphiquement, *par un arc de courbe quelconque compris entre deux traces d'étincelles*, l'intervalle de temps écoulé entre les instants où se sont produits les effets mécaniques, causes des étincelles ;

De se servir, pour la mesure de cet intervalle de temps, des propriétés de la *courbe chronométrique* qu'on aura adoptée pour la construction de l'appareil.

§ 3. — *Variété indéfinie des courbes chronométriques.*

Cette courbe, lieu géométrique des traces d'étin-

(1) On pourrait aussi déterminer la trace de l'étincelle sur une surface argentée, on aurait alors une tache de Priestley.

On pourrait encore déterminer la position d'un rhéophore mobile en faisant jaillir l'étincelle devant du papier préparé au bromure d'argent, sur lequel elle photographierait son image. Une pareille image a été obtenue par M. Becquerel.

celles, peut être une trajectoire absolue ou relative, peu importe. On fera usage, si l'on y trouve quelqu'avantage, des propriétés de l'un des mouvements composants, si c'est une trajectoire relative; sinon il faudra connaître la loi de projection, sur un axe quelconque, du tracé de la courbe des étincelles par la pointe rhéophore.

§ 4. — *Variété indéfinie des chronographes à induction.*

La variété des courbes chronométriques satisfaisant à ces conditions étant indéfinie, celle des chronographes qu'on pourra construire l'est aussi.

Mais, parmi toutes les courbes possibles, il conviendra de choisir celles qui présentent la loi la plus simple, afin de diminuer les calculs et les difficultés d'exécution de l'appareil.

§ 5. — *Exemples de courbes chronométriques absolues.*

Parmi les courbes qui représentent le mouvement absolu du rhéophore mobile, les plus simples sont celles qui sont parcourues avec un mouvement uniforme, rectiligne ou circulaire. Dans l'un et l'autre cas, les espaces parcourus sont proportionnels au temps, et l'intervalle de temps, repré-

senté par une partie de droite ou de courbe, comprise entre deux traces d'étincelles, s'obtient par une simple proportion.

On pourrait, aussi, prendre, comme lieu des traces d'étincelles, une droite ou un cercle décrits par un rhéophore animé d'un mouvement uniformément accéléré, sous l'influence d'une force constante. La loi de ce mouvement est moins simple que celle du précédent, mais elle l'est assez pour que : la valeur d'un intervalle de temps se déduise facilement de la partie de droite ou de cercle, comprise entre deux traces d'étincelles, et le représente graphiquement.

La courbe d'oscillation d'un pendule plan peut être employée comme courbe chronographique, car sa forme est connue, c'est un arc de cercle, et l'on connaît sa loi de génération en fonction du temps. On pourrait donc calculer le temps représenté graphiquement par l'arc compris entre deux trous d'étincelles. Mais, comme cette loi est assez compliquée, le calcul direct dans chaque cas entraînerait une grande perte de temps et un travail fastidieux. Dans ce cas, et dans tous ceux qui lui seraient analogues, il conviendrait de dresser une table des temps, qui donnerait promptement la

valeur de l'intervalle de temps graphiquement représenté par l'arc compris entre deux traces d'étincelles (1).

§ 6. — *Exemples de courbes chronométriques relatives et périodiques.*

Les courbes chronométriques relatives les plus avantageuses sont celles qui sont *périodiques*, c'est-à-dire composées d'une suite indéfinie de courbes élémentaires semblables, décrites dans des temps égaux et connus.

Parmi toutes les courbes périodiques, celles dont la génération est la plus simple doivent toujours être préférées quand d'autres considérations ne l'emporteront pas.

Parmi les courbes relatives planes, les plus simples et les plus avantageuses sont les suivantes qui peuvent être périodiques :

La cycloïde, ou une série de cycloïdes, engendrée par le mouvement relatif d'un rhéophore tournant sur un cercle animé d'un mouvement de translation ;

L'épicycloïde, ou une série d'épicycloïdes, en-

(1) J'ai fait construire en 1859, un pendule plan à induction par M. Ruhmkorff.

gendrée par le mouvement relatif d'un rhéophore, tournant sur un cercle dont le centre se meut aussi circulairement ; cette courbe chronométrique a été adoptée par M. le général Morin, pour son chronographe à plateau tournant (1).

La courbe sinueuse décrite par une pointe fixée à l'une des branches d'un diapason vibrant et animé d'un mouvement relatif de translation. Cette courbe chronographique a été proposée par M. Wertheim, et employée par ce physicien dans des expériences chronométriques ; le diapason qu'il employait faisait 256 vibrations par seconde (2).

Aux trajectoires relatives, décrites par le mouvement de translation dans son plan, d'un cercle décrit par le rhéophore tournant d'un mouvement uniforme, j'ajouterai l'hélice qu'il décrirait, si le centre se mouvait sur l'axe de rotation uniformément ou non. Dans ce cas, chaque spire ou sa projection sur le cercle, représenterait la durée d'une révolution, et l'arc compris entre deux étincelles

(1) Il serait très-facile de transformer cet appareil en chronographe à induction.

(2) *Cours de mécanique de l'Ecole Polytechnique, lithographié*, 1851. Cet appareil chronographique se transformerait facilement en chronographe à induction.

un intervalle de temps qu'on obtiendrait par une simple proportion (1).

§ 7. — *Propriétés des courbes chronométriques qui sont périodiques.*

Les courbes périodiques présentent un avantage particulier, quand l'intervalle de temps à mesurer est plus considérable que la durée du tracé d'une courbe élémentaire. Dans ce cas, en effet, le nombre des courbes élémentaires donne immédiatement celui des unités de temps, que chacune d'elles représente graphiquement, et il ne reste plus qu'à mesurer les intervalles de temps représentés par les parties des courbes élémentaires, comprises entre les traces des étincelles et les origines voisines. Cette évaluation sera plus ou moins facile et exacte selon le mode de génération de la courbe élémentaire. Il conviendra donc de choisir celle-ci de manière que : la durée de son tracé soit en rapport avec la destination spéciale du chronographe; je ne m'arrêterai pas d'avantage sur ce sujet.

(1) Cette courbe chronographique est employée dans le *chronographe à pendule conique*, que j'ai fait construire par M. Hardy.

CHAPITRE IV.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'APPAREIL ÉLECTRO-BALISTIQUE.

Cet appareil comprend :

1° L'appareil enregistreur par l'étincelle d'induction ;

2° Une bobine d'induction de Ruhmkorff, destinée à produire ces étincelles ;

3° Un système rhéotomique, destiné à fermer et à rompre le circuit inducteur autant de fois qu'il y a d'opérations à enregistrer ;

4° Deux piles : l'une, composée d'éléments de Bunsen, est destinée à produire le courant d'induction ; l'autre, formée d'éléments de Daniell, produit le courant qui doit passer dans les circuits ou *cibles-réseaux*, dont on veut enregistrer les instants de rupture ;

5° Cibles, fils, etc.

1. APPAREIL ENREGISTREUR.

§ 1. — *Eléments de cet appareil.*

L'appareil enregistreur se compose essentiellement :

1° D'un cylindre vertical en cuivre autour duquel tourne uniformément une aiguille coudée, qui se termine par une pointe métallique normale à l'axe de rotation. Cette pointe ne touche pas le cylindre mais en est très-voisine (1).

§ 2. — *Mouvement de rotation du rhéophore.*

Le mouvement de rotation de l'aiguille est produit par celui d'un arbre vertical, à la partie supérieure duquel elle est fixée au moyen d'une rondelle en caoutchouc durci. Cet arbre, de même axe que le cylindre, reçoit son mouvement de rotation d'un mécanisme d'horlogerie construit avec précision.

L'emploi d'un poids moteur, la suppression de tout échappement, et l'adoption exclusive d'engre-

(1) On peut obtenir le contact en terminant le rhéophore mobile par un fil de platine très-mince et plié de manière à être tangent au cylindre.

nages à dents héliçoïdales, pour éviter des à-coup, permettent d'obtenir un mouvement continu. Ce mécanisme se monte comme les pendules ordinaires.

L'accélération, que le poids moteur imprimerait à l'aiguille, est détruite par l'inertie d'un pendule conique. De sorte que ce pendule et l'aiguille acquièrent le même mouvement uniforme de rotation.

§ 3. — *Vérification du centrage du pendule.*

Le pendule a un mode de suspension à la Cardan, et sa longueur est réglée de manière qu'il décrive une révolution en une seconde.

Le pendule doit être suspendu de manière que la tige, étant verticale, soit dans le prolongement de l'axe du cylindre. Des vis de rappel, placées au-dessus du système de suspension, donnent le moyen d'obtenir ce *centrage*. On est assuré que ce centrage est absolu lorsque le pendule reste immobile pendant la rotation de l'aiguille.

§ 4. — *Dispositions pour faire descendre et arrêter le cylindre.*

La durée d'une rotation limite celle des expériences à faire, avec un appareil à cylindre fixe.

Dans l'appareil actuel, le cylindre peut prendre, à volonté, un mouvement vertical de descente très-lent.

La durée de cette descente a été fixée à 30", qui dépasse celle de toutes les expériences balistiques usuelles.

Ce mouvement de descente est déterminé par un mécanisme spécial, placé dans le cylindre, et régularisé par un volant à ailettes.

On peut le produire et le suspendre à volonté de deux manières :

1° Avec la main, en agissant sur un bouton qui est en relation avec un embrayeur ;

2° Automatiquement, en faisant opérer par l'électricité l'embrayage et le désembrayage ; c'est dans ce but qu'on a placé un électro-aimant dans l'intérieur du cylindre.

Quand on veut descendre le cylindre à la main, on imprime un mouvement de gauche à droite et dans le sens de la flèche au bouton D en relation avec l'embrayeur. Le désembrayage a lieu et le cylindre commence sa descente ; quand on veut l'arrêter, on tourne le bouton à gauche et l'embrayage s'opère instantanément.

Quand on veut arrêter, ou faire descendre le cy-

lindre automatiquement, on fait passer un courant électrique dans l'électro-aimant moteur de l'embrayeur, au moyen des presses, puis on tourne à droite le bouton embrayeur D pour désembrayer. Alors, le cylindre reste immobile tant que le courant passe dans l'électro-aimant, et descendra quand le courant sera interrompu.

Une nouvelle fermeture du circuit arrêtera le cylindre, et une autre rupture le mettra en mouvement, ainsi de suite.

§ 5. — *Dispositions pour remonter rapidement le cylindre.*

Pour remonter le cylindre rapidement, on a placé dans le cylindre un mécanisme particulier.

Quand on veut faire cette opération, il faut tourner de droite gauche à le bouton D de l'embrayeur; désembrayer le mécanisme de descente en appuyant de haut en bas sur la touche T en ivoire, engagée par une extrémité dans le carré situé à gauche de l'observateur; imprimer ensuite, sans cesser cette pression, un mouvement de rotation de droite à gauche, à une manivelle M fixée sur le carré; en quelques tours le cylindre est remonté.

On cesse alors la pression sur la touche T, puis

sur la manivelle, et on retire ces deux pièces de leur carré respectif. Le cylindre reste alors parfaitement immobile.

§ 6. — *Disposition pour amener la trace de l'étincelle vis à vis de l'observateur.*

Le cylindre peut, en outre, recevoir un mouvement de rotation autour de son axe, pour amener devant l'observateur les traces que l'étincelle d'induction, jaillissant entre la pointe mobile de l'aiguille et le cylindre, produit, pendant les expériences, sur du papier enroulé et tendu fortement sur ce dernier.

Ce mouvement de rotation est produit avec la main.

§ 7. — *Graduation du cylindre donnant immédiatement les millièmes de seconde.*

Le cylindre a un diamètre de 0m 75, et porte près de sa partie inférieure des divisions qui représentent des millièmes de la circonférence ; de 5 en 5 et de 10 en 10, de ces divisions, d'autres plus grandes indiquent les $\frac{5}{1000}$ et les $\frac{10}{1000}$ ou $\frac{1}{100}$ de cette circonférence.

La durée d'une révolution de l'aiguille étant

d'une seconde, les divisions précédentes représentent $\frac{1}{1000}$, $\frac{5}{1000}$, $\frac{1}{100}$ de seconde.

§ 8. — *Disposition pour tendre, sur le cylindre, le papier sans le coller.*

Le papier destiné à recevoir les traces des étincelles d'induction n'est pas collé sur le cylindre. Il est tendu à sec au moyen d'un artifice très-simple.

Le cylindre est fendu sur une de ses génératrices gg', par cette fente on introduit les deux extrémités d'une bande de papier dépassant de quelques centimètres le développement du cylindre. Ces deux extrémités sont saisies par un laminoir cannelé, auquel on imprime un mouvement de rotation au moyen d'un bouton inférieur, et entraînées jusqu'à ce que la bande de papier soit exactement appliquée sur le cylindre.

On dégage le papier en faisant tourner les laminoirs en sens inverse; car ce mouvement fait cesser son contact intime avec le cylindre et permet de l'enlever facilement.

§ 9. — *Transmission et isolement du courant induit dans l'aiguille et le cylindre.*

La pointe qui tourne autour du cylindre et ce

dernier sont isolés entre eux, ils doivent communiquer respectivement avec un des pôles induits de la bobine de Ruhmkorff.

L'aiguille, étant fixée sur la rondelle en caoutchouc durci qui forme le sommet de l'arbre placé au centre du cylindre, communique métalliquement avec l'extrémité inférieure de la tige du pendule avec laquelle elle est en contact.

Cette extrémité est en relation avec le système de suspension par un fil métallique placé dans l'axe de la tige en bois qui supporte la lentille.

Le système de suspension, qui est parfaitement isolé, est en communication, par un fil enveloppé de caoutchouc qui suit le montant, avec la presse p., destinée à recevoir une des extrémités du circuit induit.

La presse voisine *p'*., ou doit aboutir l'autre extrémité du circuit induit, est réunie par un fil isolé à un bouton métallique *b* placé sur un petit cylindre en caoutchouc durci. Ce bouton est pressé par une languette en cuivre en relation avec le cylindre.

Une rotation, produite avec la main, amène celui-ci à une position convenable pour opérer ce contact.

L'aiguille et le cylindre peuvent ainsi respectivement communiquer avec les extrémités du circuit induit.

§ 10. — *Dispositions pour mettre l'instrument d'aplomb.*

L'appareil enregistreur est solidement établi sur un bâti en fonte, de manière à conserver aux différents organes leurs positions relatives.

Ce bâti porte trois vis de calage, destinées à donner une position verticale à l'axe du cylindre. Deux niveaux à bulle d'air, placés sur ce dernier, et dirigés entre eux à angle droit, donnent le moyen de reconnaître quand l'instrument est mis d'aplomb.

II. BOBINE D'INDUCTION DE RUHMKORFF.

La bobine d'induction de Ruhmkorff se compose essentiellement : d'un faisceau de fil de fer doux et oxidé, autour duquel on enroule en hélice quelques tours d'un gros fil isolé en cuivre ; d'un fil fin et isolé en cuivre enroulé en hélice un grand nombre de fois sur le gros fil. L'appareil est formé ainsi de deux bobines concentriques en fer doux.

L'appareil contient en outre, dans son support,

un condensateur en relation avec les deux extrémités du fil de la bobine intérieure et dont l'objet est d'augmenter l'étincelle d'induction.

Les extrémités du fil de la bobine extérieure ou *bobine induite* aboutissent aux colonnes de verre i et $\imath$.

La colonne où aboutit l'extrémité externe du fil doit être être mise en relation avec le pendule, et l'autre avec le cylindre. Des inscriptions gravées près de chaque colonne empêcheront toute erreur.

Les extrémités du fil de la bobine intérieure ou *bobine d'induction* sont réunise, l'une avec la presse r_2, et l'autre avec le buttoir q_2 de l'armature d'un petit électro-aimant E_2. De l'armature a part un fil métallique qui va à la presse r_1.

Les deux presses r_2 r_1 sont destinées à être respectivement mises en relation avec les pôles d'une pile de Bunsen excitatrice du courant d'induction.

Il n'est pas indifférent, pour obtenir une étincelle d'induction possédant les propriétés voulues, de faire passer le courant de la bobine dans un sens ou dans l'autre. Aussi, pour éviter toute incertitude, une petite plaque placée de chaque côté de la presse indique le pôle de la pile auquel elle doit être réunie.

III. SYSTÈME RHÉOTOMIQUE.

§. 1. — *Objet du système rhéotomique.*

Le système rhéotomique est composé de deux dispositions d'électro-aimants, ayant chacune une fonction distincte.

L'électro-aimant unique E_0 de l'une d'elles, a pour objet de fermer et de rompre le circuit inducteur, par le jeu de son armature.

Les électro-aimants E_1 E_2 E_3 E_4 de l'autre disposition, servent à faire passer le courant de la pile dans la cible dont la rupture doit produire une étincelle, puis dans la suivante. De sorte qu'on emploie une pile unique pour toutes les cibles.

§ 2. — *Jeu et effets de l'électro-aimant interrupteur E_0.*

Le petit électro-aimant E_0 ferme ou rompt, à volonté, le circuit inducteur, et, par conséquent, détermine une étincelle d'induction chaque fois qu'on le désire. Il est établi de manière : que le passage d'un courant dans sa bobine mette en contact l'armature *a* et le buttoir q_0, qu'un ressort antagoniste maintenait éloigné, et que la suppression du courant rétablisse cet écartement.

Le passage et la suppression du courant dans l'électro-aimant E_4 produisent ainsi la fermeture ou la rupture du courant inducteur, d'où résulte un courant induit direct.

On peut produire successivement autant de courants induits directs qu'on le désire, en fermant rapidement le circuit de l'électro-aimant E_4 après sa rupture.

§ 3. — *Disposition pour obtenir une étincelle à chaque rupture d'un circuit.*

La fermeture et la rupture du circuit inducteur s'opèrent dans les mêmes circonstances au moyen d'un système rhéotomique composé d'autant de petits électro-aimants, moins un, qu'on veut produire d'interruptions ou obtenir de courants induits directs.

Leur nombre est de trois, E_1, E_2, E_3, dans l'appareil.

Il suffit pour obtenir quatre circuits induits ou enregistrer quatre observations, par exemple, les instants des passages du projectile à travers quatre cibles.

Ces électro-aimants sont disposés de ma-

nière que l'armature a, a_2, a_3 presse contre un buttoir q_1, q_2, q_3, quand leur électro-aimant n'est pas activé par un courant et que ce contact cesse quand le courant est établi.

Les communications électriques du système sont établies de la manière suivante :

Une des extrémités de la bobine de l'électro-aimant E_0 du circuit inducteur est en relation avec la presse d, qui est réunie par un fil à une pile excitatrice du système Daniell. L'autre extrémité aboutit à la presse d_0, et de là à la bobine du premier électro-aimant E_1, qui le rattache à la presse C_1.

Le buttoir q_1 de l'armature a_1 de l'électro-aimant E_1 est réuni, par une double dérivation d_2, d'_1, à l'armature et à la bobine de l'électro-aimant E_2 ; l'autre extrémité de la bobine E_2 communique avec la pile par la presse C_2.

La communication électrique de l'électro-aimant E_2 avec le troisième E_3 se fait de la même manière, etc.

Le buttoir q_3 du dernier électro-aimant E_3 communique directement avec la pile par la presse C_4.

Comme tous les fils de retour aboutissent tous au même pôle de la pile, on peut les réunir à un

seul fil partant de ce pôle, quand les circuits sont longs, pour économiser les fils.

On n'emploie qu'une seule pile de Daniell quel que soit le nombre des interruptions ou des courants induits à produire, parce que le jeu des électro-aimants fait passer son courant du circuit rompu dans celui qui doit l'être immédiatement après (1).

On verra plus loin comment la rupture du circuit opère automatiquement cette transmission de courant dans le circuit suivant.

§ 4. — *Disposition dans le cas où les cibles seraient très-éloignées de l'appareil.*

Dans ce cas, on transporterait un système de trois électro-aimants E_1, E_2, E_3 à hauteur de la cible centrale. Alors l'appareil chronographique et le système des trois électro-aimants, communique-

(1) Si l'on pouvait obtenir une bobine d'induction capable de donner immédiatement une étincelle par la rupture d'un circuit inducteur de plusieurs kilomètres de longueur, on supprimerait le circuit inducteur spécial avec son électro-aimant, et les piles de Daniell. Le courant inducteur engendré par les piles de Bunsen suivrait alors les circuits établis pour la pile de Daniell dans la disposition qui vient d'être décrite.

raient électriquement par deux fils ou même par un seul, si l'on employait la terre comme un fil de retour.

IV. PILES.

Les piles dont il convient de faire usage sont de deux sortes :

L'une, composée d'éléments de Bunsen (2 *ou* 3 *généralement suffisent*), est spécialement destinée à produire le courant inducteur dans l'appareil d'induction ;

L'autre, composée d'éléments de Daniell (6 *au moins*), est destinée à produire le courant des cibles disposées de manière à pouvoir à propos former chacune un circuit continu.

Cette pile a l'avantage de posséder une grande tension et de fonctionner avec la même énergie pendant des mois entiers. C'est la pile des télégraphes.

On pourrait la remplacer par une pile au sulfate de mercure.

La composition, le chargement de ces piles étant aujourd'hui très-connu, et se trouvant d'ailleurs dans tous les traités de physique, il est inutile de s'y arrêter.

V. CIBLES.

Les cibles, de grandeur variable, suivant la justesse de l'arme, leur distance, etc., sont composées d'un cadre en bois sur lequel on tend parallèlement entre eux des fils de cuivre d'un très-petit diamètre. La distance des fils doit être environ les deux tiers ou la moitié du calibre du projectile qu'on tire, afin qu'il rompe au moins un des fils de la cible en la traversant.

En général, il convient de donner aux fils une direction verticale. On attache chacun d'eux par son extremité supérieure à une cheville fixe, et on engage l'extrémité inférieure dans une cheville percée ou fendue comme celle d'un violon ; cette dernière pouvant tourner autour de son axe permet de tendre le fil en quelques tours. Le son, que rendent les fils, permet de les tendre également d'une expérience à la suivante.

Si les chevilles sont en bois, il faut réunir deux à deux les extrémités supérieures et faire de même pour les extrémités inférieures en ayant soin de ne pas réunir en haut et en bas deux chevilles de même rang.

Si les chevilles sont métalliques, on peut éviter

ce travail d'assemblage en réunissant deux à deux et d'une manière permanente les chevilles supérieures de rang impair et pair et les chevilles inférieures de rang pair et impair.

VI. FILS CONDUCTEURS.

Les fils, qui réunissent la bobine d'induction au pendule et au cylindre, doivent être en cuivre, isolé dans de la gutta-percha.

Cette communication peut être permanente quand l'appareil est à poste fixe.

Les fils qui réunissent les presses r_0, r_1 aux pôles de la pile de Bunsen, sont en cuivre de 2 mill. de diamètre, aussi isolés.

Ils peuvent rester fixés aux presses, on les réunit aux pôles quand on veut opérer.

Les communications entre la presse d_0 et le système des électro-aimants E_0, E_1, E_2, E_3 jusqu'aux presses C_1, C_2, C_3, C_4 est permanent.

Les cibles sont formées de fil en cuivre, variant suivant les circonstances de 0,0002 à 0,00035 de diamètre.

Les fils conducteurs qui vont de la pile de Daniell à la presse d, et des presses C_1, C_2, C_3 aux cibles, ainsi que le fil de retour à la pile, peuvent être des

fils télégraphiques en fer, s'ils sont fixés sur des supports isolants. Dans le cas contraire, il faudrait employer des fils de cuivre isolés de 2 mill. de diamètre.

CHAPITRE V.

INSTALLATION POUR LES EXPÉRIENCES BALISTIQUES.

§ 1. *Disposition du système.*

L'appareil enregistreur, la bobine d'induction et le système rhéotomique sont placés sur une même table, dont les pieds devront reposer sur des dés en pierre pour éviter les ébranlements. Cet appareil doit être dans un cabinet et autant que possible à l'abri de l'humidité.

Les communications électriques seront : les unes *permanentes*, les autres *passagères*, ou établies au moment de l'expérience.

§ 2. *Communications électriques permanentes.*

La première catégorie comprend les communications des pôles de la bobine induite avec la tige du pendule et le cylindre porte-papier, celle de l'électro-aimant E_0 du circuit inducteur avec les

électro-aimants E_1, E_2, E_3 du système rhéotomique, enfin, l'attache des extrémités libres des bobines des électro-aimants à leurs presses respectives C_1, C_2, C_3 et celle du buttoir q_3 à la presse C_4.

§ 3. *Communications électriques passagères.*

Les communications passagères sont : celles des pôles de la pile de Bunsen avec les presses r, r_1, placées, à cet effet, sur le support de la bobine d'induction; la réunion d'un des pôles de la pile de Daniell avec la presse d, réunie à l'électro-aimant E, du circuit inducteur; celle de l'autre pôle avec le fil R de retour, commun à toutes les cibles. Enfin la communication des cibles, N° 1, N° 2, N° 3, N° 4, à leurs presses respectives C_1, C_2, C_3, C_4, situées sur le support du système rhéotomique.

Aucune erreur ne peut être commise dans l'établissement de ces communications passagères, car la destination de chaque presse est indiquée par une inscription gravée sur une petite plaque.

Si l'on voulait éviter ces opérations dans le cabinet destiné au chronographe, on réunirait par des fils souterrains les presses d'attache de l'appareil à d'autres situées au dehors et ayant même

destination. Il conviendrait aussi, pour éviter les erreurs, de mettre près de ces presses extérieures des plaques indicatives de leur objet.

§ 4. *Emplacement des piles.*

Les piles seraient placées hors du cabinet ; celle de Bunsen, destinée au circuit inducteur, serait seulement chargée avant de procéder aux expériences balistiques, et déchargées après pour éviter son affaiblissement.

La pile de Daniell, destinée au courant des cibles, pouvant fonctionner des mois entiers sans s'affaiblir sensiblement, pourrait rester chargée. Si l'on faisait usage d'une pile au sulfate de mercure, elle pourrait aussi rester chargée.

§ 5. *Disposition des cibles.*

Les cibles, au nombre de deux, trois ou quatre, selon la nature des expériences, doivent être disposées de manière que deux consécutives comprennent, au milieu de leur intervalle, le point de la trajectoire où l'on veut connaître la vitesse du projectile.

Cet écartement peut varier entre des limites assez éloignées. Dans les expériences faites à Metz

et à l'étranger, avec le pendule électro-balistique du capitaine belge Navez, les deux cibles d'un couple étaient généralement écartées en raison de la vitesse du projectile. Cet écartement était environ de 1/10 de cette vitesse. On pourra adopter cette règle, ou réduire cet écartement selon le degré de précision qu'on voudra obtenir.

Les cibles seraient établies d'une manière permanente, du moins pendant toute la saison consacrée aux expériences, pour éviter les pertes de temps considérables qu'entraînerait leur établissement et leur enlèvement.

On supposera qu'elles sont établies, dans le paragraphe suivant, où seront exposées les dispositions à prendre pour une expérience.

CHAPITRE VI.

DISPOSITIONS A PRENDRE POUR UNE EXPÉRIENCE.

§ 1. *Opérations dans le cabinet où se trouve l'appareil.*

On supposera, pour éviter des répétitions, que

l'appareil est établi d'une manière permanente et le pendule bien centré, car on a décrit précédemment les moyens de faire cet établissement d'une manière convenable.

L'officier chargé des expériences introduit dans la fente du cylindre les deux extrémités d'une bande de papier le plus possible homogène (1) et la fait exactement appliquer sur le cylindre en imprimant au laminoir un mouvement de rotation.

Il désembraye le cylindre et son mécanisme de descente, le fait remonter et l'embraye en suivant les indications données à ce sujet. Il imprime ensuite au cylindre, à la main, un mouvement de rotation autour de son axe vertical, pour amener les languettes de communication au contact de leurs poteaux respectifs.

Il remonte le pendule, en faisant soulever le poids moteur pour faciliter le remontage.

Il éloigne un peu le pendule de la verticale, lui imprime un mouvement de rotation dans le sens inverse de la marche de l'aiguille d'une montre, et

(1) Ce papier doit être plongé dans une dissolution de cyano-ferrure de potassium pendant quelques heures, puis séché avant d'être employé.

l'abandonne à lui-même. Après quelques instants, le mouvement devient parfaitement uniforme.

§ 2. *Opérations extérieures.*

Pendant que l'officier opère ainsi, dans le cabinet qui renferme l'appareil, son aide (sous-officier, artificier ou canonnier) monte et charge la pile de Bunsen, ainsi que celle de Daniell, si elle n'est pas chargée en permanence. Il établit ensuite les communications passagères énoncées précédemment.

Pendant que l'officier et son aide disposent le chronographe, les piles et les communications électriques, un sous-officier fait charger et pointer la bouche à feu de manière à ce que le projectile rencontre les cibles.

§ 3. *Etat du système avant l'expérience.*

Alors le circuit de la pile de Daniell, qui comprend les électro-aimants E_0, E_1, du circuit inducteur et de sa cible N° 1, ainsi que cette cible elle-même, est fermé; il est facile de s'en assurer.

Le courant qui parcourt ce circuit fermé produit deux effets mécaniques essentiels : 1° Il active l'électro-aimant E_0, détermine l'attraction de son armature *a*, et la pression de cette dernière contre

le buttoir q_0, d'où résulte la fermeture du circuit inducteur de la pile de Bunsen; 2° il active l'électro-aimant E_1, dont l'armature est attirée et produit une solution de continuité dans le circuit de la cible N° 2 qui aboutit au buttoir q_2.

Les circuits des cibles N° 3 et N° 4, aboutissant tous à ce buttoir comme la figure le montre, seront aussi nécessairement interrompus.

Il n'y aura donc au moment d'expérimenter que deux circuits fermés, savoir : le circuit inducteur et celui de la cible N° 1.

§ 4. *Précautions à prendre avant le tir.*

Avant de commander le feu, l'officier s'assure, en interrompant successivement à la main les communications des cibles, que les courants passent et que leur rupture produit des étincelles d'induction. Le résultat sera obtenu si les communications ont été bien établies par le contact de surfaces non oxydées.

Dans le cas où le courant ne passerait pas, l'officier en chercherait et en trouverait la cause dans une solution de continuité des circuits électriques ou dans un contact imparfait; il remédierait aussitôt à cet inconvénient.

Le système électrique fonctionnant normalement, l'officier vérifierait le pointage de la pièce puis commanderait le feu.

CHAPITRE VII.

JEU DE L'APPAREIL.

Le projectile, après sa sortie de la bouche à feu, rencontre la première cible, brise un de ses fils et rompt ainsi le circuit dont elle fait partie.

Cette rupture détermine la désaimantation des électro-aimants E_0 du circuit inducteur et E_1 de la première cible.

La désaimantation du premier électro-aimant E_0 rompt le circuit inducteur, donne ainsi naissance à un courant induit et à une étincelle d'induction, jaillissant entre la pointe de l'aiguille et le cylindre. Le passage de cette étincelle à travers le papier y laisse un petit trou noir très-net qui indique la position actuelle de l'aiguille en mouvement.

La désaimantation de l'électro-aimant E_1 de la première cible détermine le contact de son armature avec le buttoir q_1 et, par conséquent, la fermeture du circuit de la seconde cible. Ce circuit

comprend les bobines des aimants E_2, E_0, qui sont ainsi activés.

Le jeu du premier interrompt le circuit de la deuxième cible, et celui du second ferme le circuit inducteur. De sorte que le système électrique se trouve, quand le boulet atteint la seconde cible, dans l'état où il était lors de la rencontre de la première cible par le projectile.

Le passage du projectile produit, par conséquent, une succession de phénomènes analogues, savoir : la rupture du circuit de la cible N° 2, et la désaimantation des électro-aimants E_0, E_2. De là, résultent l'interruption du courant inducteur et une trace d'étincelle ; la fermeture du circuit de la 3e cible produit la réaimantation de l'électro-aimant du circuit inducteur.

Le système est encore prêt à fonctionner quand le boulet atteindra la 3e cible, comme il a fonctionné lors de la rupture des circuits des deux premières.

Le jeu continuera ainsi jusqu'à la dernière cible, dont la rupture laissera tous les circuits électriques interrompus.

CHAPITRE VIII.

RELÈVEMENT DES RÉSULTATS DE L'EXPÉRIENCE.

§ 1. *Interrompre le circuit inducteur.*

L'expérimentateur détache un des fils polaires de la pile de Bunsen, pour éviter les commotions que des fermetures et ruptures accidentelles pourraient produire pendant le relèvement des résultats de l'expérience.

§ 2. *Relevé des abscisses circulaires des trous d'étincelles.*

Ce relevé se réduit à mesurer les abscisses circulaires des trous produites sur le cylindre par les diverses étincelles d'induction. L'origine de ces abscisses est le zéro des divisions du cylindre.

A cet effet, l'expérimentateur amène devant lui, par une rotation du cylindre, opérée avec la main, la trace dont il veut mesurer l'abscisse, celle qui, par exemple, résulte de la rupture de la 1re cible. Puis il applique un T sur le cylindre de manière que le côté gauche de la branche verticale passe par

le trou de l'étincelle, ce qu'il est facile d'obtenir avec une loupe. Il examine ensuite si le côté gauche du T passe par une division du cylindre ou entre deux divisions. Dans le premier cas le rang de la division donne immédiatement en millièmes de la circonférence l'abscisse cherchée. Si le côté du T passe entre deux divisions, le rang de la division de gauche donne immédiatement le nombre de millièmes que contient l'abscisse, et le vernier qui termine la branche verticale du T, le complément en dix-millièmes.

L'expérimentateur détermine, de la même manière, les abscisses de toutes les traces d'étincelles. Il est nécessaire d'enregistrer leur valeur avec le numéro de la cible au fur et à mesure de leur détermination pour éviter toute confusion.

§ 3. — *Traduction en temps des abscisses circulaires.*

Les valeurs numériques des abscisses représentent non-seulement des grandeurs linéaires, des millièmes de la circonférence, mais encore des millièmes du temps employé par l'aiguille pour décrire uniformément un tour du cylindre. La durée d'une rotation ayant été réglée à une seconde de temps, il en résulte que les valeurs linéaires des

abscisses donnent en millièmes et dix-millièmes de seconde le temps employé par l'aiguille pour aller du zéro des divisions aux traces des étincelles.

La différence des abscisses des traces, résultant de la rupture des cibles n° 1 et 2, donnera donc le temps employé par l'aiguille pour aller d'une trace à l'autre. Ce temps étant celui qui s'est écoulé entre la production des deux étincelles est, par conséquent, celui qui a été employé par le projectile pour parcourir l'espace qui sépare les cibles n°s 1 et 2.

En général, la différence des abscisses circulaires d'un couple de cibles représentera en millièmes et dix-millièmes de seconde le temps écoulé pendant le trajet du projectile d'une cible à la suivante.

II. — USAGE DES RÉSULTATS OBTENUS POUR MESURER LA VITESSE D'UN PROJECTILE.

§ 1. — *Mesure de cette vitesse en un point quelconque de la trajectoire.*

La distance E qui sépare les deux cibles d'un couple, étant une donnée de l'expérience, la mesure du temps T employée pour parcourir cette

distance suffit pour obtenir la vitesse moyenne entre les cibles, car on a

$$Vm = \frac{E}{T}.$$

Cette vitesse moyenne ne différant pas sensiblement de la vitesse au milieu de l'intervalle des cibles, comme M. le colonel Virlet l'a démontré, on prend la première pour la seconde qui est celle que l'on veut obtenir.

On obtiendra de même la vitesse entre les cibles 3 et 4.

§ 2. — *Mesure de la vitesse initiale.*

La vitesse initiale, ou à la bouche de l'arme, se déduira de celle obtenue au milieu de l'intervalle des deux premières cibles, par une formule connue, qui est insérée dans l'Aide-mémoire des officiers d'artillerie.

L'appareil construit pour déterminer la loi du mouvement d'un projectile, et, en général, la perte de vitesse qu'il éprouve entre deux points éloignés choisis sur sa trajection, peut aussi donner immédiatement la vitesse initiale.

Il serait facile de construire un autre chronographe à induction qui donnerait cette vitesse,

immédiatement et avec une très-grande précision ; il perdrait les avantages de celui dont nous avons donné la description et expliqué l'usage, mais il pourrait servir à mesurer la vitesse dans l'âme des canons.

NOTES.

1° MESURE DE LA DURÉE D'UNE RÉVOLUTION DE L'AIGUILLE COUDÉE.

La durée d'une révolution de l'aiguille a été réglée de la manière suivante.

On a mis, dans le circuit de la pile de Daniell, un pendule battant exactement la seconde et disposé de manière à rompre le circuit à chaque oscillation. De sorte que chaque oscillation déterminerait une étincelle d'induction et une trace sur le papier. Il est évident qu'alors si l'étincelle venait passer dans le même trou, la durée d'une révolution de l'aiguille serait exactement d'une seconde. Ce résultat a été atteint après quelques tâtonnements indispensables pour donner au pendule conique une longueur convenable : un écrou placé

sous la lentille et d'un pas très-court est destiné à cet usage.

La longueur du pendule ainsi réglée sert pour tous les lieux de même latitude ou en différant peu.

Si l'appareil devait être employé dans un lieu dont la latitude différerait sensiblement de celle où le pendule a été réglé pour obtenir une rotation d'une seconde, la durée de la rotation dans la nouvelle localité n'aurait plus cette valeur. Si l'on voulait l'y ramener on opérerait comme précédemment.

Si l'on n'avait pas de pendule on compterait le nombre des révolutions exécutées pendant un temps assez long et mesuré avec un compteur à pointage; on obtiendrait ainsi la durée moyenne d'une révolution de l'aiguille avec autant d'exactitude qu'on le désirerait. Cette durée suffirait pour l'usage de l'appareil.

Si l'on désirait que la durée d'une rotation fût exactement d'une seconde, on modifierait la longueur du pendule, et on calculerait la nouvelle durée d'un tour de l'aiguille. Après quelques tâtonnements on arriverait à lui donner la durée d'une seconde.

2° VÉRIFICATION DE L'UNIFORMITÉ DU MOUVEMENT DE ROTATION DE L'AIGUILLE.

Pour faire cette vérification on a fait descendre un peu la lentille du pendule conique et ralenti ainsi la durée d'une rotation, puis on a mis le pendule astronomique dans le circuit de la pile de Daniell.

Les oscillations isochrones de ce pendule produisaient une interruption du courant induit et une étincelle à chaque seconde. Mais comme la durée d'une révolution de l'aiguille était plus grande qu'une seconde, les traces des étincelles ne coïncidaient plus et rétrogradaient sur le cylindre. La distance de deux traces d'étincelles consécutives représentait la différence existant entre une seconde et la durée d'une rotation. Cette distance devait donc rester constante, si le mouvement de l'aiguille était uniforme.

L'expérience a montré que cette condition était satisfaite, d'où l'on conclut l'uniformité du mouvement de rotation de l'aiguille.

DE L'ANALYSE

DES PRODUITS DE LA COMBUSTION

DE LA POUDRE.

Peser et *mesurer* est la loi de tout progrès dans les sciences aussi bien que dans l'industrie.

VIOLETTE.

L'analyse des produits de la combustion de la poudre n'est pas une question nouvelle. Le célèbre chimiste Proust s'en est occupé, en 1811 et 1812, dans ses *Mémoires sur la poudre à canon* (1), et Gay-Lussac, en 1823, dans son *Rapport au comité des poudres et salpêtres* (2). Le docteur Brewster, d'Édimbourg, M. Chevreul (3), et plusieurs autres savants français et étrangers, l'ont successivement

(1) *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire naturelle*, tomes LXXII, LXXIII, LXXIV.

(2) Archives du Dépôt central de l'Artillerie.

(3) *Dictionnaire des Sciences naturelles*, vol. XXXV, 1825.

étudiée d'une manière plus ou moins complète, en se servant d'appareils plus ou moins perfectionnés. Enfin, dans ces derniers temps, MM. Bunsen et Schischkoff ont publié (1) sur la *Théorie chimique de la combustion de la poudre* un beau travail qui a été traduit par M. A. Terquem et inséré au *Journal des Armes spéciales* (2). Il faut ajouter que les résultats de toutes ces expériences et les diverses opinions émises ont été discutés et réunis en corps de doctrine par M. le général Piobert (3), dont on connaît toute l'autorité en pareille matière.

Après tous les grands noms qui viennent d'être cités, il peut sembler, au premier abord, qu'on ne doit plus trouver à glaner dans un champ où tant de consciencieux et infatigables travailleurs ont déjà fait de si riches moissons. Aussi est-il indispensable de bien établir, dès le début, que ce n'est pas au même point de vue qu'on a recherché un moyen simple et pratique de faire cette analyse chimique des produits de la combustion de la pou-

(1) *Poggendorff's Annalen*, Bd. CII, page 338.

(2) *Journal des Armes spéciales*, mars et avril 1859.

(3) *Traité d'Artillerie théorique et pratique.—Propriétés et effets de la poudre*, par G. Piobert ; 2e édition, 1859. — Paris, Mallet-Bachelier.

dre. Dans toutes les expériences entreprises jusqu'à ce jour, on s'est, en effet, préoccupé surtout d'arriver à « calculer le maximum de l'effet mécanique,
» ou le travail théorique que peut produire la
» poudre, lorsque les gaz qui en proviennent, pris
» d'abord sous la pression correspondante à leur
» volume primitif, se dilatent dans un espace sans
» perdre de chaleur (1). »

Pour cela, on cherche à déterminer si les résidus solides de la poudre peuvent ou ne peuvent pas se volatiser, s'ils ont ou n'ont pas une influence réelle sur l'action mécanique exercée; on s'efforce de mesurer la température de la flamme de la poudre brûlant à l'air libre ou en vase clos, pour en déduire la dilatation des résidus gazeux, etc... Ainsi envisagée, la question de l'analyse des produits de la combustion de la poudre ne peut guère avoir qu'un intérêt purement théorique, car trop de circonstances, dont il n'est pas facile de tenir compte, font varier en réalité les conditions dans lesquelles cette combustion s'opère; la preuve, enfin, qu'on ne peut tirer encore, à vrai dire, aucun enseignement

(1) *Théorie chimique de la combustion de la poudre*, par MM. Bunsen et Schischkoff, traduction de M. A. Terquem, pages 61 et 62.

pratique de tant de remarquables travaux, c'est que la solution de ce problème théorique lui-même n'est pas donnée, et que pendant que tels chimistes (1) assurent que la poudre, « en brûlant dans « un canon, derrière le projectile, ne peut exercer « une pression plus élevée que 4,500 atmosphères,» les plus illustres auteurs d'artillerie (2) font monter cette pression jusqu'à 50,000 et même au-dessus de 100,000 atmosphères.

Il serait téméraire d'intervenir, et plus téméraire encore de vouloir prononcer dans ce grave débat : *Tantas non licet componere lites*. Mais, en se fondant sur des considérations théoriques qui seront exposées tout à l'heure, on a pensé que *l'analyse des produits de la combustion de la poudre* pouvait fournir un moyen sûr et commode de comparer entre elles des poudres de compositions différentes ou de différentes provenances ; qu'elle pouvait conduire à une appréciation raisonnée, fondée sur l'expérience, de l'importance qu'il faut attacher aux diverses circonstances relatives, soit à

(1) MM. Bunsen et Schischkoff, mémoire cité, page 60.

(2) Voir dans l'ouvrage précité de M. le général Piobert, la discussion des expériences de Robins, Rumford......, page 349 et suivantes.

la composition, soit aux procédés de fabrication des poudres ; qu'elle était susceptible enfin de rendre compte très-exactement des propriétés balistiques de ces poudres, en même temps que de leurs effets destructeurs des bouches à feu.

Pour soumettre ces idées nouvelles à la sanction indispensable de recherches expérimentales, il fallait s'occuper tout d'abord de choisir, parmi les procédés d'analyse employés jusqu'à aujourd'hui, celui qui semblerait susceptible d'offrir les plus sérieuses garanties.

Aucun des dispositifs qui ont été décrits dans les traités spéciaux, n'ayant paru établi d'une façon satisfaisante comme solidité ni même comme exactitude, on a été conduit à faire construire un appareil nouveau dans lequel on peut recueillir en totalité, sans mélange d'air atmosphérique, les produits, solides et gazeux, de la combustion d'assez grandes quantités de poudre.

Pour étudier d'une manière complète et bien rationnelle cette grande question, si obscure encore, des poudres de guerre ; pour obtenir toutes les données expérimentales qui permettraient de prendre des conclusions bien inattaquables et de marcher d'un pas assuré dans la voie du progrès,

il faudrait procéder maintenant, avec ces instruments, à un nombre considérable d'analyses.

On n'a pu traiter, dans ce Mémoire, qu'une seule question : l'étude de l'influence de la nature du charbon sur les propriétés brisantes des poudres de guerre.

Il est vivement à désirer que les conclusions si précises auxquelles on a été conduit, engagent quelques-unes des personnes qui aiment l'artillerie et la cultivent comme une véritable science, à s'occuper de trouver la solution d'une foule d'autres problèmes non moins intéressants, dont quelques-uns se présenteront tout naturellement dans ce qui va suivre.

C'est dans l'espérance de faciliter ces recherches si éminemment utiles qu'on a cru devoir décrire d'abord avec détails les procédés d'expérimentation, les appareils nouveaux qui ont déjà obtenu du reste l'approbation de chimistes éminents.

Considérations sur lesquelles est fondée la méthode proposée. — Il a semblé, vient-on de dire, que ce qu'il y avait de plus sûr, de plus rationnel à faire pour bien apprécier les propriétés des différentes poudres, ou des différentes compositions d'artifices même, était d'étudier de très-près de

quelle manière avait lieu la combustion de chacune d'elles. Les effets des poudres varient, en effet, on le sait, avec la vitesse de combustion (1) et avec la température produite par la déflagration (2).

Les phénomènes chimiques les plus élémentaires, la décomposition de l'eau par les divers métaux alcalins, la combustion des corps dans l'oxygène pur ou dans l'air, de certains métaux dans le chlore, etc., pourraient déjà permettre de poser en principe que, pour la poudre en particulier, et dans le cas de la vivacité la plus grande des réactions chimiques entre ses composants, il y a nécessairement production de la température la plus élevée ; que la vitesse de combustion doit augmenter aussi en même temps, tant à cause des affinités

(1) Piobert. « La rapidité de combustion ou les quantités de gaz fournis dans les premiers instants de l'explosion..... ont effectivement..... une grande influence sur les effets de la poudre. » (Page 139.)

(2) Piobert. « La tension des fluides élastiques de la poudre doit varier avec la température dans un plus grand rapport que celle des gaz permanents. » (Page 313.) « Le tableau comparatif des tensions des gaz et des vapeurs pour les diverses températures a donné un aperçu des grandes variations que la force de la poudre doit éprouver pour de faibles élévations ou abaissements de température... (Page 317.)

chimiques surexcitées qu'à cause de la plus grande chaleur dégagée ; et que, pour ces deux raisons réunies, dans ce même cas, les gaz développés dans un temps plus court, dilatés plus énergiquement, doivent exercer des effets de choc, si l'on peut s'exprimer ainsi, d'une violence, d'une instantanéité plus grande sur le métal des bouches à feu.

Les belles expériences de dynamique chimique de M. H. Sainte-Claire Deville, ne permettent pas, d'ailleurs, de contester un seul instant l'exactitude de ce principe. Ce savant est arrivé, en effet, à poser les conclusions suivantes (1) :

« Les corps simples sont des composés de cha-
» leur et de matière : la chaleur se dégage par la
» combinaison...

» L'affinité étant la cause, la chaleur dégagée
» est l'effet produit par cette force et lui est pro-
» portionnelle, d'où il suit que, si l'on veut prendre
» l'effet pour la cause ou la cause pour l'effet, ce
» qui est permis ici, on arrive à admettre que l'af-
» finité (en intensité) n'est pas autre chose que la
» quantité de chaleur latente ou phlogistique en-

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 1860, tome L, n°s 11 et 12, pages 534 et 584.

» fermée dans les corps, et à identifier, avec d'an-
» ciennes hypothèses, toutes les forces physiques
» et chimiques, comme le veulent M. Grove et
» presque tous les physiciens modernes (1). »

Il est bien évident, d'un autre côté, que cette relation intime entre les affinités qui sont en jeu et la température produite ne sera jamais plus vraie que dans le cas qui nous occupe, puisque la poudre se compose, chimiquement parlant, d'un corps susceptible de céder de l'oxygène, le salpêtre, et de deux autres corps avides de cet oxygène, le soufre et le charbon; et que les variations des affinités, ou les variations de température, ne peuvent avoir d'autre résultat que de produire une oxydation plus ou moins complète de ce soufre, de ce charbon.

Il paraît donc tout à fait incontestable que pour bien comparer les propriétés et les effets de diverses poudres, la marche à suivre est tout naturellement indiquée et consiste à rechercher de quelle

(1) Je crois devoir dire que j'avais adressé au Comité de l'Artillerie un premier mémoire sur le sujet que je traite ici, dès le mois de février 1860, et bien avant d'avoir lu dans les Comptes rendus l'analyse du beau travail sur lequel je m'estime heureux de pouvoir m'appuyer aujourd'hui.

manière, avec quelle vivacité se produisent les réactions chimiques entre les composants de chacune de ces poudres Or, le moyen le plus certain de nous renseigner à cet égard, sera toujours de remonter des effets aux causes, d'examiner attentivement, par l'analyse chimique, la composition des résidus solides ou gazeux de la combustion de ces mêmes poudres.

La discussion de quelques résultats d'expériences, cités par divers écrivains militaires, permettra de présenter bientôt de nouveaux arguments en faveur de ces idées, et de démontrer l'exactitude de ce principe, comme on prouve tous les théorèmes des sciences d'observation.

Mais avant d'aller plus loin, rendons-nous bien compte, d'une manière générale, de la nature des divers composés que nous devons nous attendre à rencontrer dans les produits, solides ou gazeux, de la combustion d'un mélange intime de soufre, de charbon et de salpêtre.

Quels composés on doit s'attendre à rencontrer dans les résidus solides ou gazeux de la combustion de la poudre. — On a longtemps admis, pour simplifier sans doute, qu'une poudre formée de un équivalent de soufre, de un équivalent de salpêtre

et de trois équivalents de carbone, dont 1 gramme contiendrait par suite :

Salpêtre.	$0^{gr},7485$
Soufre.	$0^{gr},1184$
Carbone.	$0^{gr},1332$

brûlerait de telle façon que tout son carbone passerait à l'état d'acide carbonique, que l'azote deviendrait libre, ce qu'on écrivait comme il suit :

$$AzO^5,KO + S + 3C = 3CO^2 + Az + KS.$$

De sorte qu'après la combustion de 1 gramme de cette poudre, on devrait retrouver, comme résidu solide, un poids de $0^{gr},1078$ de sulfure de potassium, et, comme produits gazeux, un mélange de 82,52 centimètres cubes d'azote et de $248^{cc},40$ d'acide carbonique, formant ensemble un volume de $330^{cc},92$ de gaz.

Toutes les recherches entreprises sur ce sujet, depuis celles de Gay-Lussac, en 1823, font voir que les choses ne se passent pas d'une manière aussi simple.

Voyons donc, à priori, quels sont les différents produits qui peuvent résulter de la décomposition de l'azotate de potasse, de l'oxydation du soufre et

du charbon, ce dernier corps étant composé de carbone, d'oxygène et d'hydrogène. Quelles sont les bases susceptibles de former des sels? Quels sont les acides susceptibles de se produire en présence de ces bases et de s'unir à elles?

En fait de bases toutes formées, nous ne trouvons que la potasse du salpêtre, base ayant de très-grandes affinités chimiques : les sels contenus dans le résidu solide de la combustion de la poudre seront donc des sels de potasse. Peut-être l'azote naissant, produit par la décomposition de l'acide azotique du salpêtre, s'unira-t-il à l'hydrogène fourni par le charbon ou par l'eau hygrométrique de la poudre, et formera-t-il un peu d'ammoniaque AzH^3 (ou AzH^4,O, si l'on admet la théorie de l'ammonium). On peut le supposer, au moins, d'après la facilité avec laquelle prend naissance dans une foule de réactions chimiques, dans la décomposition de l'eau par le zinc et l'acide sulfurique, par exemple, ce corps dont on a eu l'occasion de signaler la présence dans le liquide sulfurique des piles Bunsen (1).

(1) *Recherches et résultats d'expériences relatifs à la mise en service des chronoscopes électro-balistiques*, par A. Vignetti, note 4, page 184.

Quant aux acides, parmi tous ceux que le soufre peut former avec l'oxygène, nous devons nous attendre à ne rencontrer ici que ceux qui donnent, en s'unissant aux bases alcalines, les composés les plus stables, l'acide sulfurique et l'acide hyposulfureux : nous aurons donc à rechercher, par conséquent, du sulfate et de l'hyposulfite de potasse. Le charbon se transformera, lui, en acide carbonique pour fournir un peu de carbonate de potasse. S'il s'est fait de l'ammoniaque, comme nous l'avons admis ci-dessus, on peut être assuré que c'est à l'état de carbonate qu'il existera dans les résidus; car on sait qu'on rencontre le carbonate d'ammoniaque dans un grand nombre de réactions de la chimie organique.

En outre, enfin, toutes les fois que la décomposition de l'azotate de potasse sera assez complète pour que la potasse cède aussi de son oxygène, le potassium mis en liberté devra se combiner avec le soufre en plus ou moins grande quantité pour faire du sulfure de potassium ; mais on voit, à priori, que, selon toutes les apparences, ce corps sera bien loin de composer à lui seul tout le résidu solide.

Il ne faut pas négliger de dire encore que dans

ce résidu on devra retrouver parfois du charbon et même du soufre non comburés.

Comme gaz, nous devrons recueillir une partie de l'acide carbonique qui n'aura pas pu se combiner en entier avec la potasse, parce que celle-ci a plus d'affinité pour les acides du soufre, et de l'oxyde de carbone. L'azote, dont on connaît les faibles affinités chimiques, y subsistera en grande partie à l'état libre; tout au plus pourra-t-il se former un peu de protoxyde d'azote et, dans certains cas, peut-être un peu de cyanogène C^2Az, l'état naissant favorisant dans ce cas l'union de l'azote avec le carbone.

Ce cyanogène se fixera très-probablement alors sur le potassium, pour produire du cyanure de potassium.

Enfin, l'odeur caractéristique des gaz de la poudre a été jusqu'ici regardée comme la preuve qu'une petite partie de l'hydrogène du charbon ou de l'eau hygrométrique décomposée engendre, en s'alliant au soufre, du gaz acide sulfhydrique; suivant quelques auteurs (1), le soufre et le charbon

(1) D'après MM. Taillefert et Colin, la présence d'un peu de sulfure de carbone dans les gaz de la poudre communiquerait à ceux-ci leur odeur caractéristique. Dans cette hy-

peuvent se combiner et produire de petites quantités de sulfure de carbone, de même que l'hydrogène et le carbone peuvent donner, mais en petite quantité, des carbures d'hydrogène.

Examen des différents résultats d'analyse. — Si l'on compare maintenant tous les résultats des analyses des produits de la combustion de la poudre, faites en France ou à l'étranger, et citées par M. le général Piobert, dans son traité des *Propriétés et effets de la poudre*; si l'on y joint quelques autres résultats publiés à diverses époques, on restera convaincu qne non-seulement ce ne sont pas toujours les mêmes corps, en proportions variables, qu'on trouve dans les résidus solides ou gazeux de ces poudres, mais que chaque analyse, pour ainsi dire, semblerait assigner à ceux-ci une composition différente.

Rien de plus naturel, au reste. Ces poudres diffèrent par les procédés de fabrication, par la na-

pothèse, ce serait à l'action de l'humidité atmosphérique HO sur le sulfure de potassium KS, qu'il conviendrait d'attribuer la production de l'acide sulfhydrique HS, mais postérieurement alors à la combustion de la poudre. Nous discuterons plus loin cette opinion à l'appui de laquelle nous avons quelques observations à présenter.

ture du charbon, par le dosage de leurs composants; et, d'après ce qu'on vient de dire même, il est facile de comprendre que la plus ou moins grande quantité d'hydrogène, par exemple, selon qu'on a employé du charbon roux ou du charbon noir, que la plus ou moins grande abondance d'oxygène, suivant la proportion plus ou moins forte du salpêtre, ne peuvent manquer de donner des produits de nature très-variable.

Aussi verra-t-on tout d'abord, sans surprise, dans l'ouvrage précité de M. le général Piobert, qui rapporte les expériences du savant et célèbre docteur Brewster, d'Edimbourg (1), que des poudres de chasse contenant 77 à 82 °/₀ de salpêtre, ont donné en brûlant de 27 à 70 °/₀ de *sulfate de potasse*, tandis que des poudres de guerre renfermant de 74 à 76 °/₀ de salpêtre, fournissent de 38 à 47 °/₀ de *sulfure de potassium*.

De même, dans les résidus gazeux de ces dernières poudres il y a de 10 à 20 litres *d'acide carbonique*, tandis que des poudres de mine, au dosage

(1) Voir dans l'ouvrage de M. le général Piobert, le tableau, page 303, extrait de *The Edinburgh Encyclopædia*, conducted by D. Brewster, Edinburgh, 1830, vol. X, page 587.

de 64 à 67 °/₀ de salpêtre, ont dégagé de 15 à 45 litres environ d'*oxyde de carbone*.

Mais, en y réfléchissant bien, pourquoi, dans le premier cas, le soufre est-il donc passé à l'état d'acide sulfurique et ne s'est-il pas oxygéné du tout dans le second ? Pourquoi le carbone est-il devenu, selon les circonstances, soit acide carbonique, soit oxyde de carbone ? Ce n'est pas là le fait, assurément, de l'*abondance* plus ou moins grande de l'oxygène dont il a été parlé tout à l'heure. Ce n'est généralement pas, on le sait bien, de la quantité des composants mis en présence que peut dépendre la nature des produits de leur combinaison : faites détonner dans l'eudiomètre un volume d'hydrogène successivement avec 2, 4, 6, 8, 10 volumes d'oxygène, vous n'aurez jamais que de l'eau et jamais que la même quantité d'eau.

Influence du jeu des affinités chimiques. — La seule cause qui puisse faire varier la nature des produits de la décomposition de la poudre, c'est le degré plus ou moins grand jusqu'où ont été exaltées les affinités chimiques qui tendent à réunir tous les corps mis en présence, et, au cas particulier, le soufre, le charbon, l'oxygène fourni par le salpêtre.

Si les diverses réactions chimiques sont bien vives, si elles produisent, comme conséquence certaine, un grand développement de chaleur, il est hors de doute que le calorique surexcitera les affinités de ces corps les uns pour les autres, et favorisera, par la suite, la décomposition de l'azotate de potasse; l'oxydation du soufre, du charbon, seront alors plus complètes; on constatera l'existence de sulfate de potasse, de carbonate de potasse dans les résidus solides, et d'acide carbonique dans les gaz, comme pour les poudres de chasse du docteur Brewster. Avec une poudre plus lente, brûlant avec un moindre dégagement de chaleur, et c'est le cas des poudres de guerre et de mine d'Edimbourg, le soufre s'oxydera moins aisément, ne donnera que peu ou pas de sulfate de potasse, mais passera à l'état de sulfure de potassium; les gaz contiendront moins d'acide carbonique et plus d'oxyde de carbone, etc.

Il ne faut pas méconnaître, bien entendu, l'influence incontestable que le dosage des différentes poudres a forcément par lui-même sur la nature des produits de la combustion de ces poudres, sur la proportion plus ou moins considérable de tels et tels de ces produits qu'on retrouve dans leurs ré-

sidus. En y introduisant, en effet, des poids variables d'azotate de potasse, on fait varier non-seulement la quantité de l'oxygène développée, mais encore celle de la potasse susceptible d'entrer en combinaison avec les acides formés. Il y a là, sans doute, une question du plus haut intérêt à étudier, mais qu'il faut réserver pour le moment, tout en constatant que les procédés d'analyse qui vont être exposés pourront aider puissamment à la résoudre.

Ce qu'il importe de bien établir aujourd'hui c'est que : dans tous les cas où l'on ne fera varier qu'une seule des données qui ont une influence reconnue sur les propriétés ou sur les effets des poudres, l'intensité avec laquelle les réactions chimiques se seront exercées pendant la déflagration, aura *seule* pu influer sur l'oxydation plus ou moins complète du charbon et du soufre, et contribuer à former une quantité plus ou moins considérable des composés les plus oxygénés.

C'est ainsi, par exemple, que la plus ou moins grande vivacité de poudres ayant le même dosage, mais pour la fabrication desquelles on aurait employé des charbons de différentes essences de bois, des charbons de provenances diverses, ou bien préparés par des procédés différents, charbons

donnant, en résumé, à ces poudres des propriétés plus ou moins brisantes, c'est ainsi, dis-je, que cette vivacité de combustion, que, soit dit en passant, l'Artillerie a un si grand intérêt à connaître, peut être déterminée de la manière la plus certaine, *par le plus ou moins grand degré d'oxydation des corps oxydables employés à leur préparation.*

En résumé, on peut donc ramener à des analyses chimiques la recherche des propriétés des poudres. On montrera, dans la suite de ce mémoire, que ces analyses peuvent être tout à fait concluantes, sans présenter de difficultés d'exécution, et on détaillera les procédés qui peuvent les rendre beaucoup moins délicates et beaucoup moins longues que la plupart de celles que les officiers d'artillerie ont à exécuter dans les laboratoires des fonderies de canons, par exemple.

Ajoutons que les résultats obtenus au laboratoire de l'École d'artillerie de Metz, en cherchant à comparer entre elles des poudres préparées avec différents charbons, sont entièrement d'accord avec les observations faites directement dans le tir.

Indépendamment de l'analyse chimique dont il vient d'être question, il est d'autres données qu'il faut recueillir bien attentivement pendant la com-

bustion des différentes poudres en essai, pour être complètement et sûrement renseigné sur les propriétés et les effets de ces poudres, pour avoir une confirmation précieuse, sinon nécessaire, des résultats des opérations chimiques.

Volume des gaz de la poudre. — C'est d'abord la mesure des volumes de gaz fournis par les diverses poudres. Il faut bien remarquer, en effet, que plus l'action sera vive et plus devra être considérable la quantité d'oxygène employée pour faire passer le soufre à l'état d'acide sulfurique, et plus il sera mis, par suite, en liberté d'azote par la décomposition de l'acide azotique du salpêtre. Le tableau cité par M. le général Piobert, d'après M. le docteur Brewster, montre bien que les gaz formés dans la combustion des poudres de chasse, donnant comme résidu solide du sulfate de potasse, renferment plus d'azote que les gaz des poudres de guerre qui ne déposent que du sulfure de potassium.

L'acide carbonique est, au contraire, en moindre volume dans les gaz des premières poudres que dans ceux des secondes ; et ceci est encore tout naturel et n'est qu'une conséquence des lois de Berthollet. La potasse ayant plus d'affinité pour l'acide sulfurique que pour l'acide carbonique, les

sulfates étant bien plus stables que les carbonates, il doit se former, en présence de cette potasse, de l'acide sulfurique préférablement à de l'acide carbonique ; la quantité d'oxygène dégagée par le salpêtre en ignition étant constante, doit se répartir très-inégalement entre le soufre et le charbon, toutes les fois du moins que l'élévation de la température permet la combustion la plus complète possible du premier de ces corps.

Il pourra même arriver, comme on le voit dans le tableau précité de M. Brewster, que les affinités du soufre satisfaites, il ne reste plus parfois assez d'oxygène pour faire, avec le charbon, de l'acide carbonique, et que ce charbon se transforme seulement en oxyde de carbone.

Le volume des gaz fournis par la charge de poudre ayant évidemment un rapport intime avec l'action que cette charge exerce sur le projectile comme sur la bouche à feu, il est donc bien important de noter avec soin les volumes gazeux que dégageront les poudres à comparer.

Jusqu'ici, on a déduit les valeurs de ces volumes de la composition en poids de ces gaz, au moyen de calculs assez longs, qui ne sont pas complètement à l'abri de toute critique.

On va décrire un procédé expérimental très-précis et très-rapide à la fois, permettant de recueillir tous ces produits gazeux, sans en rien perdre, sans y rien ajouter, d'en mesurer la pression et le volume avant d'en faire l'analyse.

Chaleur dégagée pendant la combustion. — Une autre circonstance dont il sera très-essentiel de tenir compte, c'est l'intensité du dégagement de chaleur pendant la déflagration des diverses poudres, et le degré de température que les gaz peuvent atteindre. C'est là, en effet, comme l'ont prouvé les curieuses expériences de M. H. Sainte-Claire Deville, la cause directe des variations qu'on observe dans les affinités chimiques, après l'entière satisfaction desquelles on retrouve tels corps ou tels autres dans les résidus de la combustion.

S'il était besoin, à ce propos, de donner de nouvelles preuves du principe qui sert de base à la méthode d'observation dont il s'agit, on n'aurait qu'à interpréter les résultats des analyses de MM. R. Bunsen et L. Schischkoff, insérées, comme on l'a déjà dit, au CII[e] volume des *Annales de Poggendorff*. Ces Messieurs ont trouvé que les résidus solides de leur poudre renfermaient encore 5,47 °/. d'azotate de potasse, d'une part; et, d'un autre

côté, que les produits gazeux recueillis contenaient 0,52 °/ₒ d'oxygène libre. S'il est frappant de rencontrer ainsi de l'oxygène à côté de gaz éminemment combustibles, comme l'hydrogène, l'oxyde de carbone, etc., il ne l'est pas moins de constater qu'une partie notable de salpêtre a pu échapper à la décomposition. « On se rend compte de ce fait » disent-ils à propos de l'oxygène libre, « en admet-« tant qu'après la combustion du soufre et du char-» bon, le résidu de la poudre, dispersé à l'état de « fumée, contient encore du salpêtre et peut, tout « en se refroidissant, laisser dégager de petites « quantités d'oxygène ; mais la température n'est « plus assez élevée pour faire brûler des gaz mé-« langés avec un volume très-considérable de gaz « incombustibles (1). »

Cette observation ne doit-elle pas contribuer à prouver combien sont exactes les idées qui viennent d'être exposées ?

(1) Mémoire de MM. Bunsen et Schischkoff; traduction de M. A. Terquem, page 34.

Nous sommes tout à fait d'accord à ce sujet avec ces Messieurs, et nous avions, en 1858, développé les mêmes idées dans le *Mémoire sur les Foyers à combustion sans fumée*, inséré dans les *Mémoires de l'Académie impériale de Metz*, année 1858-1859, tome VII, 2ᵉ série, page 563 et suivantes.

On éprouverait assurément de bien grandes difficultés à mesurer, avec précision, la température produite pendant la combustion d'une poudre déterminée. La manière même dont cette combustion s'opère ne permet, en effet, de brûler à la fois que des poids très-faibles de matière; en outre, le peu de sensibilité des moyens thermométriques dont on dispose, et l'obligation d'introduire les valeurs des puissances calorifiques des diverses substances qu'on emploie, ne permettent d'obtenir, dans cette détermination, qu'une approximation assez peu satisfaisante.

Aussi, à cet égard, nous bornerons-nous encore à noter, avec exactitude, et à *comparer* les variations de la quantité de chaleur produite par la combustion d'échantillons de diverses poudres.

On observera séparément ainsi comment varient les effets et comment varient les causes, ce qui ne peut manquer de conduire à une confirmation expérimentale d'un grand intérêt de la loi posée par M. H. Sainte-Claire Deville, et ce qui permettra d'établir, dans tous les cas, la relation qui existe entre les variations de la cause et celle des effets.

Vitesse de combustion des grains. — Comme, ainsi qu'on l'a vu ci-dessus, la vitesse de combus-

tion des différentes espèces de poudres a sur les propriétés et sur les effets de celles-ci une influence certaine, et comme d'ailleurs on n'a pas de moyens de mesurer avec précision la vitesse de combustion des grains, il sera utile de déterminer les vitesses de combustion de fragments de galettes ou de barreaux (1) des mêmes poudres ayant des densités différentes. Les valeurs trouvées pourront être comparées entre elles et donneront, par interpolation, la vitesse de combustion du grain lui-même.

Voilà donc, en substance, sur quelles données expérimentales on peut baser, avec toute confiance, la détermination des propriétés et des effets des poudres qu'on voudrait comparer entre elles. Celle de ces poudres dont les résidus indiqueraient l'oxydation la plus complète du soufre et du charbon, celle qui aurait fourni le volume de gaz le plus considérable et développé le plus de chaleur, celle enfin dont la vitesse de combustion serait la plus grande, ne pourrait manquer d'être la plus vive et

(1) On peut aujourd'hui fabriquer aisément ces barreaux de poudre au moyen des presses hydrauliques. Il faut ne pas perdre de vue seulement que lorsque la densité en est trop faible, ils ne brûlent pas d'une manière régulière, ni par couches parallèles.

d'avoir les effets destructeurs les plus intenses sur les bouches à feu.

Il reste à prouver que les nouveaux procédés d'expérimentation, quoiqu'ils soient fondés sur l'application de l'analyse chimique, n'exigent de la part de l'opérateur ni une science bien profonde, ni même une grande habitude des manipulations. Il suffira pour cela de les décrire tout au long.

Analyse des produits de la combustion de la poudre. — *Appareils.* — Les considérations qui ont été développées plus haut devant conduire à faire à l'avenir, d'une manière habituelle, l'analyse des produits de la combustion de la poudre, il fallait s'empresser de rechercher si parmi les procédés d'analyse qui ont été publiés, il y en avait un qui pût être appliqué au cas particulier qui nous occupe, en présentant des garanties suffisantes d'exactitude et de grandes facilités d'exécution. Le plus complet semble être celui qui a été employé, dans ces derniers temps, par MM. Bunsen et Schischkoff; il convient de faire ici une mention spéciale de l'appareil dont ces habiles chimistes ont fait usage, en leur en empruntant la description sommaire. On aura par là une idée des difficultés que cette opération présentait jusqu'à présent, et l'on pourra mieux

apprécier, par suite, les avantages des nouvelles dispositions proposées.

Appareil de MM. Bunsen et Schischkoff (Fig. 1). — Cet appareil « se compose d'une ampoule en « verre *d* que l'on chauffe à l'aide d'une lampe à « gaz, dans laquelle se fait la combustion de la pou- « dre et où reste le résidu solide. A une des extré- « mités recourbées de cette ampoule est adapté un « tube en verre ayant 3^{mm},5 de diamètre et 1^{m} de « hauteur ; à la partie supérieure de ce tube est « mastiquée une garniture de laiton à laquelle on « fixe un tube de caoutchouc vulcanisé *a*, pouvant « contenir 15 à 20 grammes de poudre. Le dia- « phragme *b* est percé d'une ouverture circulaire, « très-étroite, qui ne permet à la poudre de couler « dans le tube *b* que sous la forme d'un filet très- « mince. L'ampoule *d* vient s'ouvrir dans un large « tube de verre de 1^{m},50 à 2^{m} de long et de 25^{mm} de « diamètre, servant d'allonge, et où se déposent les « matières pulvérulentes entraînées à l'état de fu- « mée. Pour faire tomber la poudre d'une manière « continue, on agite le tube *a* avec une baguette *o* ; « la combustion de la poudre s'opère tranquille- « ment dans l'ampoule, quand l'écoulement se fait « d'une manière continue ; quelques interruptions

« dans l'écoulement de la poudre ne nuisent nulle-
« ment au succès de l'expérience. On laisse les pro-
« duits gazeux se dégager dans l'atmosphère. On
« ne peut les recueillir sur l'eau ni sur le mercure,
« car la pression qui se produit quand on plonge
« dans la cuve l'extrémité du tube de dégagement,
« fait remonter la flamme dans le tube *c* et déter-
« mine l'explosion de toute la poudre contenue dans
« le tube *a*... ***Il peut se produire aussi des explo-***
« sions quand le tube de dégagement de l'ampoule
« vient à s'obstruer. Pour recueillir facilement les
« produits gazeux, nous avons introduit dans l'al-
« longe *e* un tube de verre *f* relié à l'aide de caout-
« choucs à des tubes de verre plus larges et effilés,
« *s*, *s*, dont le dernier était en communication avec
« un aspirateur; les tubes *s*, *s*, fermés d'abord à
« l'aide de pinces, étaient à la fin hermétiquement
« fermés en fondant leurs extrémités à la lampe... »

On peut reprocher à cet appareil de présenter les inconvénients suivants :

1° Il ne fait pas brûler la poudre dans des conditions analogues à celles qui ont lieu dans les bouches à feu ou dans les armes portatives; les grains ne s'enflamment que successivement et au

milieu du courant d'air produit inévitablement par l'aspirateur ;

2° Il ne permet pas de recueillir les gaz en totalité; ceux même qu'on trouve à la fin de l'expérience dans les tubes *s*, *s*, renferment nécessairement de l'oxygène et de l'azote atmosphériques ;

3° Il peut donner lieu à des explosions plus ou moins dangereuses qu'il n'est facile ni de prévoir, ni d'éviter ;

4° Cet appareil, enfin, avec ses grands tubes de verre de 1^m et 2^m de longueur, doit exiger des soins minutieux pour son installation, en même temps qu'une grande habileté de la part de l'opérateur, soit pour établir, au moyen de tubes de caoutchouc, la communication des diverses parties entre elles, soit pour régulariser l'écoulement de la poudre, pour fermer les tubes *s*, *s* à la lampe au moment convenable, pour régler l'action de l'aspirateur, etc., etc.

On comprend très-bien que le savant auteur des travaux si pénibles, si dangereux et si intéressants sur l'acide fulminique et les fulminates, dont M. Dumas rendait compte d'une manière si favorable à l'Académie des sciences, le 12 janvier

1857 (1), ne se soit pas laissé arrêter par les difficultés ni par les dangers de ces nouvelles études entreprises en commun avec M. Bunsen. Mais il est permis d'affirmer que des expérimentateurs moins habiles éprouveraient un grand embarras à faire fonctionner l'appareil de ces chimistes éminents, appareil qui n'est évidemment pas susceptible d'être mis en service d'une manière normale et réglementaire dans les établissements de l'artillerie.

Ce n'est donc que parce que la nécessité d'arriver à des dispositions plus simples et plus sûres a été bien démontrée, qu'on a été conduit à faire établir l'instrument d'épreuve des poudres qu'on va décrire en peu de mots.

Appareil du capitaine Vignotti. — On prend un projectile creux, un obus de 22^c, par exemple, dont la capacité intérieure est assez grande, comme on va le voir, pour renfermer, sous une pression modérée, les gaz dégagés dans la combustion d'une certaine quantité de poudre.

(1) Voir au tome XLIV des *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, le rapport de M. A. Dumas sur un mémoire de M. Léon Schischkoff, relatif à la constitution de l'acide fulminique.

On place cette poudre dans un petit mortier cylindrique en cuivre *m* (Fig. 2) qui est vissé solidement dans la lumière de l'obus un peu agrandie. Le fond de ce cylindre est percé de deux canaux *c*, *c*, dans lesquels sont isolés, au moyen de tubes de cristal capillaires, mastiqués au silicate de soude et fermés à la lampe, des fils de platine devant servir de conducteurs et permettant de communiquer à volonté le feu à la poudre contenue dans le cylindre, en faisant rougir, par le passage d'un courant voltaïque, un fil métallique très-fin, qui réunit les extrémités *p*, *p* de ces conducteurs (1).

L'obus devra être supporté par une couronne en fer ou en fonte *f*, munie de pieds *q*, de manière à

(1) Pendant le cours des expériences, on avait eu à essayer divers moyens pour mettre le feu à la poudre renfermée dans le petit mortier en cuivre. L'emploi de la bobine de Ruhmkorff avec un petit nombre d'éléments Bunsen n'a jamais réussi, soit qu'un fil très-fin de platine réunît les conducteurs, soit que, le vide étant fait dans le projectile, on eût laissé se former librement à l'intérieur l'arc voltaïque entre les pointes de ceux-ci.

Le procédé exclusivement employé maintenant consiste à attacher un fil de fer très-fin à ces conducteurs, et à y faire passer le courant fourni par une pile de quatre éléments. Le fil est rougi instantanément quand on ferme le circuit.

ce qu'on puisse lui donner une certaine stabilité, visser, dévisser le mortier *m*, etc...

Pour se débarrasser de l'air qui remplissait l'intérieur de l'obus, pour que l'oxygène atmosphérique ne pût prendre part aux diverses réactions chimiques, et pour se rapprocher un peu des circonstances ordinaires de la combustion de la poudre dans les armes à feu, où la charge de poudre n'est pas librement en contact avec un volume d'air considérable, relativement au volume de la charge elle-même, on s'était proposé de faire préalablement le vide dans l'appareil au moyen de la machine pneumatique; cela ne présentait aucune difficulté, mais on a été forcé d'y renoncer, après avoir été conduit à reconnaître que ***l'air est indispensable à l'explosion de la poudre*** (1).

(1) Ce premier fait, très-intéressant, demande quelques explications. Après avoir réuni par un fil de platine de un dixième de millimètre les deux conducteurs du petit mortier, on avait fait le vide dans l'obus, puis on avait fermé le courant. L'explosion n'ayant pas eu lieu, et le mortier ayant été dévissé, on a reconnu que le fil de platine avait été brûlé; ses extrémités portaient de petites sphères, traces évidentes de la fusion du métal, et cependant la poudre en contact avec le fil incandescent n'avait pas pris feu ! Il n'était pas douteux, d'ailleurs, qu'il n'y eût eu contact, car un certain nombre de

Le mortier en cuivre est muni d'un cuir graissé *k* qui permet d'interrompre toute communication

grains avaient subi un commencement de fusion, et étaient restés *attachés* au fil de platine.

Or, avec quatre éléments, on enflamme toujours la poudre dans l'air, même en se servant d'un fil de fer, dont la résistance au passage de l'électricité est, comme on sait, moins grande que celle d'un fil de platine de même grosseur.

Il semble difficile, d'ailleurs, d'admettre, la température de fusion du platine étant de 2,200 degrés, que le fil de un dixième de millimètres n'atteigne pas, sous l'influence du courant, la température à laquelle le charbon de bois ou le soufre peuvent décomposer le salpêtre, puisque, d'après M. Violette, cette température n'est guère que de 430 degrés. (*Deuxième Mémoire sur les charbons de bois*, lu à l'Académie des sciences dans la séance du 16 mai 1853, et inséré aux *Annales de Chimie et de Physique*, troisième série, tome XXXIX, page 291.) Le même auteur dit, d'ailleurs, page 330, que « si l'on chauffe lentement et graduellement de « la poudre, on voit, à 250 degrés, le soufre prendre feu et « brûler avec flamme; » que « cette inflammation fait rougir « le charbon qui se combine aussitôt avec le salpêtre, etc. ;» et plus loin :

« La poudre s'enflamme à 250 degrés, le soufre servant à « l'allumer. »

Mais il est bien évident que le fil de platine ne fond qu'à une température supérieure de 250 degrés, et que, par suite, la non-inflammation de la poudre dans le mortier tient, non pas à ce que la température n'est pas assez élevée, mais à ce que l'air fait défaut : et la preuve c'est qu'on n'a qu'à en faire

entre l'intérieur de l'obus et l'atmosphère, lorsqu'on serre convenablement au moyen d'une clé

rentrer, comme on l'a déjà dit, et qu'alors la détonation se produit immédiatement.

Pour ne conserver aucun doute à ce sujet, d'ailleurs, on a augmenté notablement l'intensité des courants, en employant dix et même vingt grands éléments Bunsen, au lieu de quatre.

La poudre ne s'est jamais enflammée *dans le vide,* quoique le soufre soit toujours entré en fusion. Dans une de ces expériences, on a obtenu ce résultat très-curieux, que les grains de poudre ramollis se sont agglomérés en une masse présentant à peu près la forme de l'arc voltaïque, deux demi-sphères dont les pôles étaient placés aux extrémités des conducteurs, raccordées par une partie centrale de forme cylindrique.

M. Violette a donc bien raison de dire que le soufre *allume* la poudre; mais pour l'allumer il faut qu'il puisse brûler lui-même, il lui faut *de l'air.* Ces résultats d'expériences, qui se sont offerts d'une manière tout à fait incidente, semblaient donc décider nettement la question en faveur de l'opinion émise par les observateurs dont parle M. le général Piobert (Ouvrage précité, page 123), et qui pensent que l'air est nécessaire pour que l'explosion de la poudre puisse avoir lieu.

Ce n'est donc pas sans une certaine surprise que nous avons entendu parler des *Recherches sur la combustion des poudres à feu dans le vide et dans différents milieux gazeux* entreprises par M. Bianchi, et dont communication a été faite à l'Académie des sciences dans la séance du 14 juillet 1862. (Comptes rendus, année 1862, 2e semestre, n° 2, page 97.)

Ayant été admis à examiner l'appareil employé par M. Bianchi, il nous a été facile de nous rendre compte de la contra-

anglaise appliquée à la partie inférieure du mortier, à laquelle on a eu soin de donner une forme hexagonale.

diction, seulement apparente, entre les expériences de cet ingénieur et celles de Metz. M. Bianchi emploie un fil de platine assez gros pour ne pas être *fondu* par le courant électrique qui le traverse ; une petite quantité de poudre est ainsi soumise à une source constante de chaleur qui produit sur celle-ci les effets de décomposition *progressive* bien connus et décrits dans l'ouvrage de M. le général Piobert. (Page 123). Ce qui se passe lorsque la poudre *se décompose* de cette manière, sous l'influence d'une source de chaleur, électrique ou autre, dans le vide, dans l'azote ou dans un gaz quelconque ne peut et ne doit pas être assimilé à une déflagration à peu près instantanée de la poudre ; et la preuve, c'est que, d'après M. Bianchi lui-même, les produits de la combustion ne sont pas les mêmes dans les différents cas.

Quand on a fait rougir, à Metz, un fil fin de platine placé à l'intérieur d'une charge de 20 grammes de poudre, on a évidemment obtenu, dans les premiers instants, ce qu'obtient M. Bianchi ; les grains en contact avec le fil ont subi un ramollissement partiel incontestable puisqu'ils sont restés attachés au fil ; mais celui-ci étant tout de suite entré en fusion, la source de chaleur ayant été brusquement tarie, les phénomènes se sont arrêtés à cette toute première période de la décomposition : il est hors de doute que si le fil fût resté incandescent, sans se rompre, on aurait fini aussi par brûler la poudre dans le vide.

Les deux séries d'expériences ne sont donc pas contraires, comme on pourrait le croire. Et s'il faut développer, pour

En prenant pour valeur du diamètre extérieur de l'obus de 22, 22^{c},1, diamètre de la grande lunette de réception, et pour épaisseur de parois 26^{mm}, moyenne exacte entre l'épaisseur maximum 27^{mm},7 et l'épaisseur minimum 24^{mm},3, on trouve que le vide intérieur a, approximativement, pour volume 2,525^{cc}.

D'un autre côté, MM. Bunsen et Schischkoff ont admis, après en avoir fait le calcul, que 1 gramme de leur poudre (1) fournissait, en brûlant, 193^{cc},10 de gaz. Une analyse ancienne, citée par M. le général Piobert (2), a donné 261^{cc},6 ; la théorie adoptée jusqu'ici conduirait au chiffre de 330^{cc},9.

Il était facile, d'après ces données, de prévoir

éviter tout malentendu, ce que nous posions tout à l'heure en principe, que *l'air est indispensable à l'explosion de la poudre*, nous dirons que si, dans le vide, on porte un seul instant à un degré de chaleur capable de fondre un fil fin de platine (1/10e de millimètre de diamètre), quelques points d'une charge de poudre, cela ne suffit pas pour provoquer l'inflammation et l'explosion de cette poudre, tandis qu'il en est tout autrement si l'on n'opère pas dans un air très-raréfié.

(1) Cette poudre contenait : salpêtre, 78,99 ; soufre, 9,84 ; carbone, 7,69 ; hydrogène, 0,41 ; oxygène, 3,07 ; ces trois derniers corps formant ensemble 11,17 de charbon.

(2) Ouvrage précité, 2e édition, page 297.

qu'on pourrait, sans inconvénient et malgré l'élévation de la température, faire brûler à la fois dans l'obus 10, 15 et même 20 grammes de poudre. Pour écarter toute inquiétude quant à l'éclatement de l'obus de 22, est-il donc besoin de rappeler que la charge suffisante pour faire éclater ce projectile est de 0k,675, et qu'il faut employer 65 grammes de poudre pour en chasser seulement la fusée?

L'expérience a montré, en effet, qu'on pouvait toujours brûler à la fois dans l'obus 20 grammes de poudre. Ce poids est très-supérieur au poids des charges dont on fait usage avec les armes portatives; et l'on doit déjà reconnaître, par suite, que le nouvel appareil présente le grand avantage de permettre d'observer le phénomène de la combustion de la poudre dans des conditions bien comparables, bien analogues à celles du tir des armes à feu, ce qui n'avait pas lieu dans les recherches antérieures dont il a été parlé précédemment.

Il conviendra donc de calculer les dimensions du petit mortier en cuivre *m*, de manière à ce qu'on puisse y renfermer aisément au moins 20 grammes de poudre. Un premier point qu'il serait très-intéressant d'éclaircir, consisterait à opérer successivement la combustion de 5, de 10, de 15, de 20

grammes de poudre, de faire chaque fois l'analyse des produits de la combustion, et de reconnaître si le poids de la charge influe sur la nature même de ces produits, et, par conséquent, sur la manière dont cette combustion s'opère.

Quant aux dimensions du mortier, la poudre de guerre non tassée devant peser, au minimum, 820 grammes, sous un volume égal à 1,000^{cc}, il faudra que ce cylindre ait 24^{cc} de volume intérieur pour qu'il puisse en contenir 20 grammes, ce qui a conduit à lui donner 3^{c} de diamètre intérieur et 3^{c},5 de hauteur. Avec 4 à 5^{mm} d'épaisseur de parois, son diamètre extérieur atteindra 4^{c} ; et l'ouverture supérieure de la lumière de l'obus étant de 27^{mm}, il n'y aura pas à beaucoup agrandir celle-ci.

Inutile de dire que si l'on était amené à vouloir brûler à la fois des quantités de poudre de plus de 20 grammes, on ferait couler exprès des sphères creuses de plus grands diamètres, ayant des épaisseurs plus considérables, et renforcées même au besoin par des armatures en fer forgé.

(La suite au prochain numéro).

Détermination du poids spécifique des corps solides par voie d'oscillation,

par M. de Morhange.

Cette nouvelle méthode, proposée par M. F.-G. Schaffgotsch, consiste à faire osciller le corps solide dans un liquide transparent d'une densité égale, mais inconnue, et à rechercher ensuite, d'une manière quelconque, la gravité spécifique du liquide en question. La quantité de poids du corps solide peut impunément rester à l'état de chose entièrement inconnue, et n'a besoin d'être prise en considération qu'autant que de petits morceaux, qui se trouvent d'ailleurs dans des circonstances égales, possèdent une surface relativement plus grande, et, par suite, montent et descendent dans le liquide, à raison d'une plus grande résistance éprouvée, plus lentement que de grands morceaux.

Nous devons remarquer ici que ce morcellement doit rendre les essais très-difficiles, et même impossibles dans le cas où les morceaux ont des dimensions très-petites. Toutefois, les essais auxquels

s'est livré l'auteur prouvent qu'on peut se servir de morceaux pesant au-dessous de 1 décigramme et même au-dessous de 1 centigramme, sans que l'exactitude du résultat en soit aucunement affectée.

Cette méthode offre des avantages signalés ; car non-seulement elle est d'une exécution facile, mais elle est aussi, pour les cas où l'on n'a à sa disposition que de petites quantités de matériel, plus exacte que les méthodes ordinaires où, comme on sait, les petites erreurs de pesage influent d'autant plus sur la justesse de résultat que le poids absolu du corps solide est plus petit.

L'exécution a lieu de la manière suivante :

On introduit le corps solide dans un liquide convenable d'une gravité spécifique plus grande; on atténue ensuite avec précaution par un liquide spécifiquement plus léger qui se mêle au premier, atténuation que l'on prolonge jusqu'au moment où le corps tombe lentement, et en plongeant avec un thermomètre baigné, ou y ajoutant du liquide plus léger autant qu'il en faut pour que le corps plane en équilibre. Il va sans dire qu'il faut aussi tenir compte de la température. Les liquides de suspension sont nombreux : acide nitrique, acide sulfurique, solutions de sel de différentes es-

pèces, par exemple, l'oxyde de mercure formé par l'acide nitrique ou l'alcool, le chloroforme, etc. On obtient la solution de mercure en dissolvant de l'oxyde de mercure dans de l'acide nitrique froid ; par l'évaporation, on peut porter la solution jusqu'à un poids spécifique plus grand que 3,5. Mais, dans cet état, elle se fige au bout de quelque temps et devient une marmelade cristalline. Une solution de 3,3 à 3,4 se prête le mieux pour la conservation de grandes quantités. Pour obtenir 100 quintaux cubes de cette solution, soit environ 5,144 k. 8, on secoue dans un ample flacon 200 grammes d'oxyde de mercure avec 450 quintaux cubes (23,151^{kg},6) d'acide nitrique des officines, jusqu'à ce que la chaleur qui est intervenue soit passée; on filtre et l'on fait vivement évaporer, sans faire bouillir. Il faut continuer la concentration jusqu'à ce qu'un morceau d'olivine de Turnau, en Bohême, dont le poids spécifique est de 3,34, surnage à la solution refroidie. Après quoi, on atténue jusqu'au moment où l'olivine tombe lentement au fond. Il faut que la solution, pour être préservée, soit soigneusement enfermée et qu'elle soit mise à l'abri de tout contact avec des matières végétale et animale.

L'auteur arrive à déterminer le poids spécifique du mélange liquide, en remplissant, par la succion, jusqu'à la marque, une *pipette pleine* jaugée dont la contenance en eau distillée d'une température déterminée est invariable et connue d'avance, en l'introduisant par son extrémité inférieure dans un petit tube de verre joignant solidement et fermé en bas, et en mettant le tout ensemble sur la balance. La pipette, de même que les petits cylindres de verre, sont une fois pour toutes tarés à l'état sec. De cette manière, l'on n'a qu'un seul pesage à faire, dont on soustrait la tare de la pipette, etc., et l'on divise le poids par le poids connu d'eau. C'est d'après cette méthode que l'auteur a déterminé les poids spécifiques suivants :

	Nouvelle méthode.	Ancienne méthode.
1° Paraffine. . . .	0,900	0,900
2° Caoutchouc. . .	0,922	0,924
3° Gutta-percha. .	0,969	0,962
4° Succin. . . .	1,083	1,080
5° Jais.	1,177	1,175
6° Cire à cacheter. .	1,768	1,770
7° Soufre. . . .	2,003	2,004
8° Hyalithe. . . .	2,167	2,169
9° Verre.	2,479	2,477

	Nouvelle méthode.	Ancienne méthode.
10° Quartz. . . .	2,651	2,655
11° Béril.	2,691	2,198
12° Phénacite. . .	2,961	2,969
13° Spathfluor. . .	3,165	3,167
14° Chrysolithe. . .	3,343	3,342
15° Diamant. . . .	3,535	3,521

Les poids absolus employés à la détermination cherchée ne dépassent jamais, dans la nouvelle méthode, 0,1 gramme; les numéros 4, 11 et 12 ont même été obtenus à moins de 0,01 gramme.

Méthode pour mesurer la densité de la chaleur.

A la séance de l'Académie des sciences du 8 octobre 1862, M. Becquerel a présenté, de la part de M. Edmond Becquerel, la description d'une méthode pour mesurer la densité de la chaleur.

L'auteur, M. E. Becquerel, a cherché d'abord à comparer entre elles, avec facilité et rapidité, les hautes températures. On sait quelles sont les difficultés que présente cette évaluation et quelles sont toutes les recherches qui ont été faites depuis un

demi-siècle, par les plus habiles expérimentateurs, pour résoudre cette question. Après avoir employé les principales méthodes habituellement en usage, il a recours à un pyromètre thermo-électrique, formé de fils de platine et de palladium réunis ensemble sur une étendue de 1 cent. environ.

L'intensité du courant thermo-électrique, développé dans ce couple, est assez forte, elle croît avec la température d'une manière beaucoup plus régulière et ne présente pas les variations inégales que l'on observe en faisant usage d'autres métaux : on peut donc se servir de ce couple jusque près du point de fusion du palladium, c'est-à-dire jusqu'à une température déjà très-élevée et dépassant 1,500°. Ce pyromètre paraît donc le plus convenable pour l'évaluation et la comparaison des hautes températures et pourrait être avantageusement utilisé dans les arts.

Pour comparer les températures données par ce couple à celles qui sont indiquées par la dilatation de l'air jusqu'à 1,100° environ, M. Becquerel a fait usage du pyromètre à air à réservoir en platine de M. Pouillet, qui lui a paru préférable à ceux qui sont employés jusqu'ici, surtout dans les expériences qui exigent une longue durée.

Avant d'effectuer cette comparaison, il a reconnu que, lorsque ce dernier pyromètre contient de l'air complètement sec, on est conduit à des nombres en général un peu inférieurs à ceux qui avaient été indiqués antérieurement pour examiner la température correspondant au changement d'état de certains corps.

Ainsi, le point de fusion de l'argent paraît être compris entre 950° et 960°, et celui de l'or atteint à peine 1,090°.

Les déterminations expérimentales ont permis de faire une table des intensités du courant électrique du couple entre 100 et 1,450 et pouvant donner par conséquent, entre ces limites étendues, la température en degrés centigrades, d'après l'indication du magnétomètre.

Les points de jonction des fils de platine et de palladium, qui constituent le couple thermo-électrique, étant placés dans un milieu dont la température peut être portée à des degrés plus ou moins élevés et qui reste constante pendant un certain temps, il est facile de suivre l'émission de la lumière due à l'incandescence de ces points de jonction, en même temps que l'on détermine l'intensité du courant thermo-électrique, développé dans ces

mêmes points, c'est-à dire la température à laquelle l'incandescence a lieu. En plaçant des corps solides à côté du couple thermo-électrique on peut étudier concurremment les effets lumineux produits par chacun d'eux.

Sans parler des changements dans la réfrangibilité de la lumière émise par un corps incandescent à mesure que sa température s'élève au-dessus de 500°, changement dont il s'occupe actuellement, il se borne aujourd'hui à rapporter les résultats des observations faites en suivant l'augmentation d'intensité des rayons lumineux d'une même couleur. Cette étude a été suivie au moyen d'un photomètre analogue à celui qu'il avait employé dans de précédentes recherches, et qui a été un peu modifié.

M. Becquerel a observé que l'intensité de la lumière d'une même couleur, de la lumière rouge, par exemple, émise par un même corps opaque incandescent, tel que le platine, la chaux, la magnésie, croît avec la température suivant les termes d'une formule exponentielle semblable à celle qui règle la vitesse d'émission de la chaleur, par les corps échauffés placés au milieu d'une enceinte

vide, dont les parois sont à une température constante.

Au moyen des évaluations photométriques et pyrométriques, on reconnaît que les différents corps solides n'ont pas le même pouvoir d'irradiation à température égale, et l'on peut facilement comparer les effets produits par chacun d'eux; cependant les corps opaques, tels que le platine, la chaux, la magnésie, etc., donnent peu de différence entre eux jusqu'à la température de fusion du platine.

Si l'on suppose que la loi d'émission de la lumière reste la même pour un même corps incandescent et pour des rayons de même réfrangibilité, à mesure que la température s'élève au-dessus de la limite jusqu'à laquelle on l'a vérifiée, on peut déduire la température du corps de l'indication donnée par le photomètre, et cela dans des circonstances où les autres pyromètres ne peuvent plus être appliqués. C'est ainsi, par exemple, que les observations faites au moyen du pouvoir d'irradiation des corps opaques indiquent que le point de fusion du platine ne dépasserait pas 1,600°, et que le charbon polaire positif de l'axe voltaïque qui est une des sources lumineuses les plus brillantes par

l'élévation de température que l'on ait observée, atteindrait 2,070°; on est donc conduit à une méthode pyrométrique optique qui pourrait être facilement utilisée. Ces résultats montrent donc que les températures les plus hautes ne sont pas aussi élevées qu'on l'avait cru et indiquent les limites où l'on peut atteindre à l'aide des moyens physiques et chimiques les plus puissants.

En faisant usage de fils de platine portés à l'incandescence par un courant électrique, on peut comparer la quantité de lumière émise pendant le même temps. On trouve alors que cette intensité lumineuse croît beaucoup plus rapidement que la quantité de chaleur rayonnée, sans que les résultats des expériences conduisent à l'expression d'une loi simple.

L'auteur promet de s'occuper, à la suite de ces recherches, de l'émission des rayons de lumière de diverse réfrangibilité, suivant la température des corps incandescents, et des relations qui peuvent exister entre les phénomènes caloriques et lumineux que présentent ces corps et qui sont si essentiellement liés l'un avec l'autre.

Le phénomène de la dissociation de l'eau.

A la séance de l'Académie des sciences du 2 février dernier, M. Henri Deville a lu, sur un phénomène très-remarquable de l'eau, une note que nous analysons de la manière suivante :

Quand on introduit dans un tube de terre poreuse un courant même assez rapide d'hydrogène et qu'on fait passer sur la cuve les gaz qui en sortent, on recueille, au lieu d'hydrogène, de l'air pur, auquel l'analyse assigne la composition suivante :

Oxygène.......	21	20.9	20.8
Azote..........	79	78.1	78.2
	100	100.0	100.0

Ainsi, l'hydrogène se *disperse* dans l'atmosphère et l'air est *absorbé* dans l'intérieur du tube poreux, en vertu de l'endosmose et malgré la pression dans quelques centimètres d'eau ou de mercure que le tube abducteur plongé dans la cuve maintient dans l'appareil. Si on prend ce tube poreux, si on l'introduit dans un tube plus court, de porcelaine vernissée et imperméable, en fermant les deux extrémités du tube de porcelaine par un bouchon percé

qui laisse passer le tube de terre, on enferme entre ces deux tubes un espace annulaire et cylindrique dont on pourra composer l'atmosphère à volonté. A cet effet, on percera les deux bouchons de deux ouvertures qui laisseront passer deux tubes de verre : par l'un d'eux, on fera arriver un courant d'acide carbonique qui pourra sortir par l'autre. Deux autres tubes de verre, munis de bouchons, permettront d'introduire de l'hydrogène dans le tube de terre poreuse intérieur par l'une des extrémités, et de laisser s'échapper le gaz par l'autre extrémité. Tout étant ainsi disposé, l'on fait arriver un courant assez rapide d'acide carbonique dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes et un courant d'hydrogène convenablement ménagé dans l'intérieur du tube poreux ; on pourra enflammer du gaz hydrogène à l'extrémité du tube de verre qui termine l'espace annulaire et par où devrait sortir naturellement l'acide carbonique. Au contraire, le tube poreux laisse dégager de l'acide carbonique à peu près pur qui éteint les corps en combustion. Ainsi, en vertu de l'endosmose, ces deux gaz ont changé de lieu en traversant chacun dans une direction opposée les pores du tube perméable. Ces phénomènes, qui permettent de réaliser une expé-

rience de cours frappante et instructive, sont en concordance parfaite avec les faits observés déjà par M. Graham et par M. Jamin.

Si on porte l'appareil que nous venons de décrire dans un fourneau alimenté par des charbons très-denses et dans lequel on puisse produire facilement une température de 1,100° à 1,300°, on peut le faire servir à démontrer le phénomène de la décomposition spontanée de l'eau, phénomène qu'il a proposé d'appeler *dissociation*. Pour cela, au lieu d'hydrogène, on fait arriver de la vapeur d'eau dans le tube intérieur en terre poreuse, un courant d'acide carbonique dans le tube extérieur ou espace annulaire, et on reçoit les gaz sortant de cet appareil sur une cuve contenant de la lessive de potasse et dans les éprouvettes ou tubes de verre d'un centimètre de large et d'un mètre de haut, pour arrêter l'acide carbonique.

Lorsque le fourneau est en activité, on recueille un mélange gazeux fortement explosif et composé des éléments de l'eau, l'hydrogène et l'oxygène. Ainsi une partie de la vapeur d'eau s'est décomposée spontanément ou dissociée dans le tube de terre poreuse : l'hydrogène appelé par l'acide carbonique de l'espace annulaire a traversé les pores

de la matière perméable, et s'est séparé par l'action d'un simple filtre de l'oxygène resté dans le tube intérieur. Une quantité considérable d'acide carbonique y a été appelée par contre, d'après la règle établie déjà par l'expérience, et s'est mêlée à l'oxygène. Dans les expériences qui ont été faites, on a obtenu environ un centimètre cube de gaz détonnant par gramme d'eau employé. Voilà donc le fait de la dissociation de l'eau démontré au moyen d'agents physiques, comme on l'a démontré déjà au moyen de l'oxyde de plomb et de l'argent, qui interviennent en dissolvant l'oxygène que l'eau dissociée laisse en toute liberté vers 1,000° ou 1,100°.

De ces expériences, M. Deville tire des déductions très-curieuses et très-nouvelles sur le traitement de la vapeur d'eau par de hautes températures. Il signale, entre autres effets singuliers, que la vapeur d'eau ne peut résister et se décompose à l'action d'une température qui décuple son volume.

TABLE DES MATIÈRES

Contenues dans le tome V. — 5e Série.

DU

JOURNAL DES ARMES SPÉCIALES.

N° 1.

15 JANVIER 1863.

Planches.

Planche V. Des casemates des États-Unis.

N° 2.

15 JANVIER 1863.

Planches.

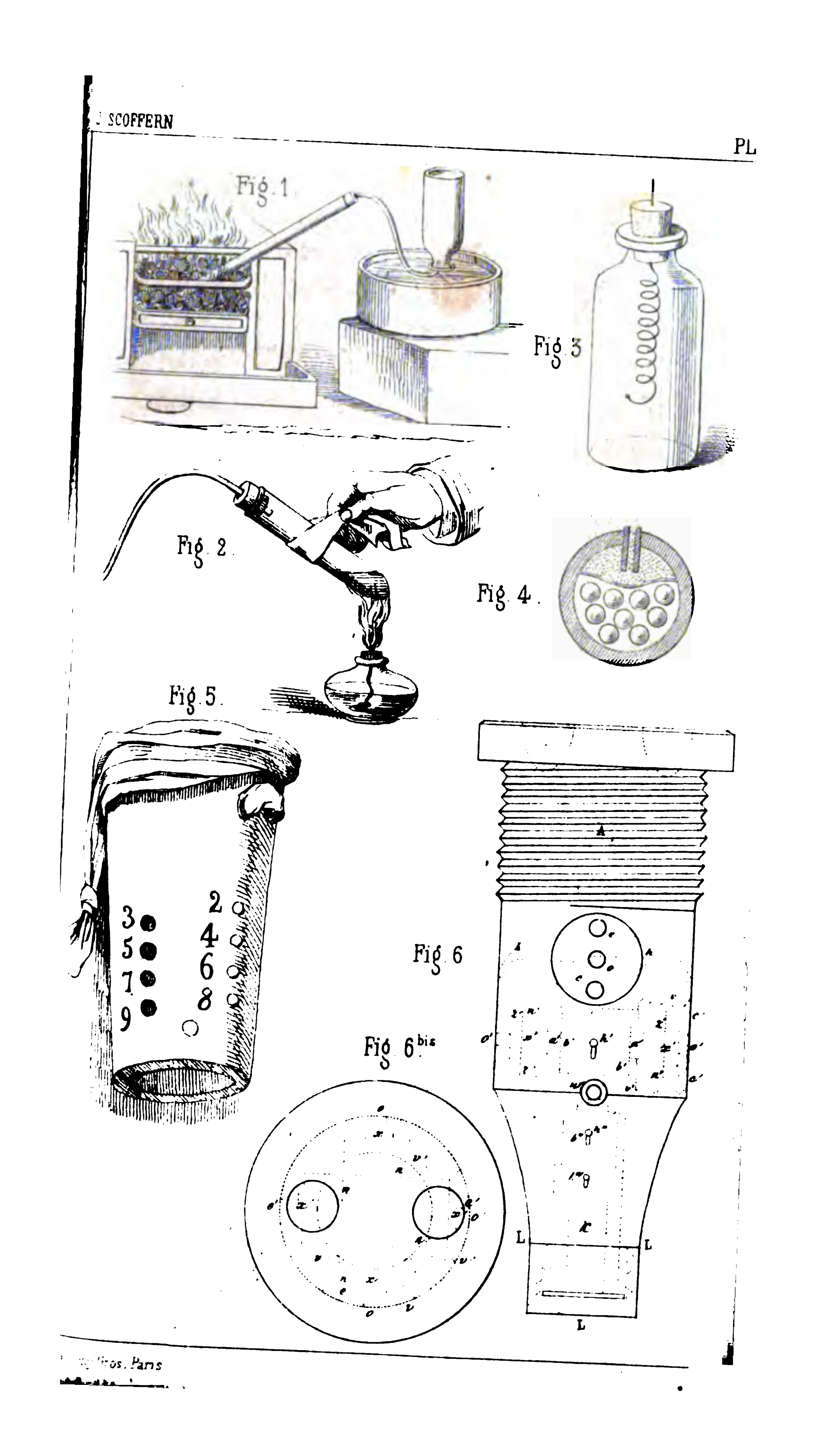
N° 3.

15 mars 1863.

Planches.

FIN DE LA TABLE DU TOME Ve. — 5e SÉRIE

Sceaux. — Typographie de E. Dépée.


SCOFFERN
PL
Fig. 1
Fig. 3
Fig. 2
Fig. 4
Fig. 5
2
3
4
5
6
7
8
9
Fig. 6
A
L
L
L
Fig. 6 bis
Pros. Paris

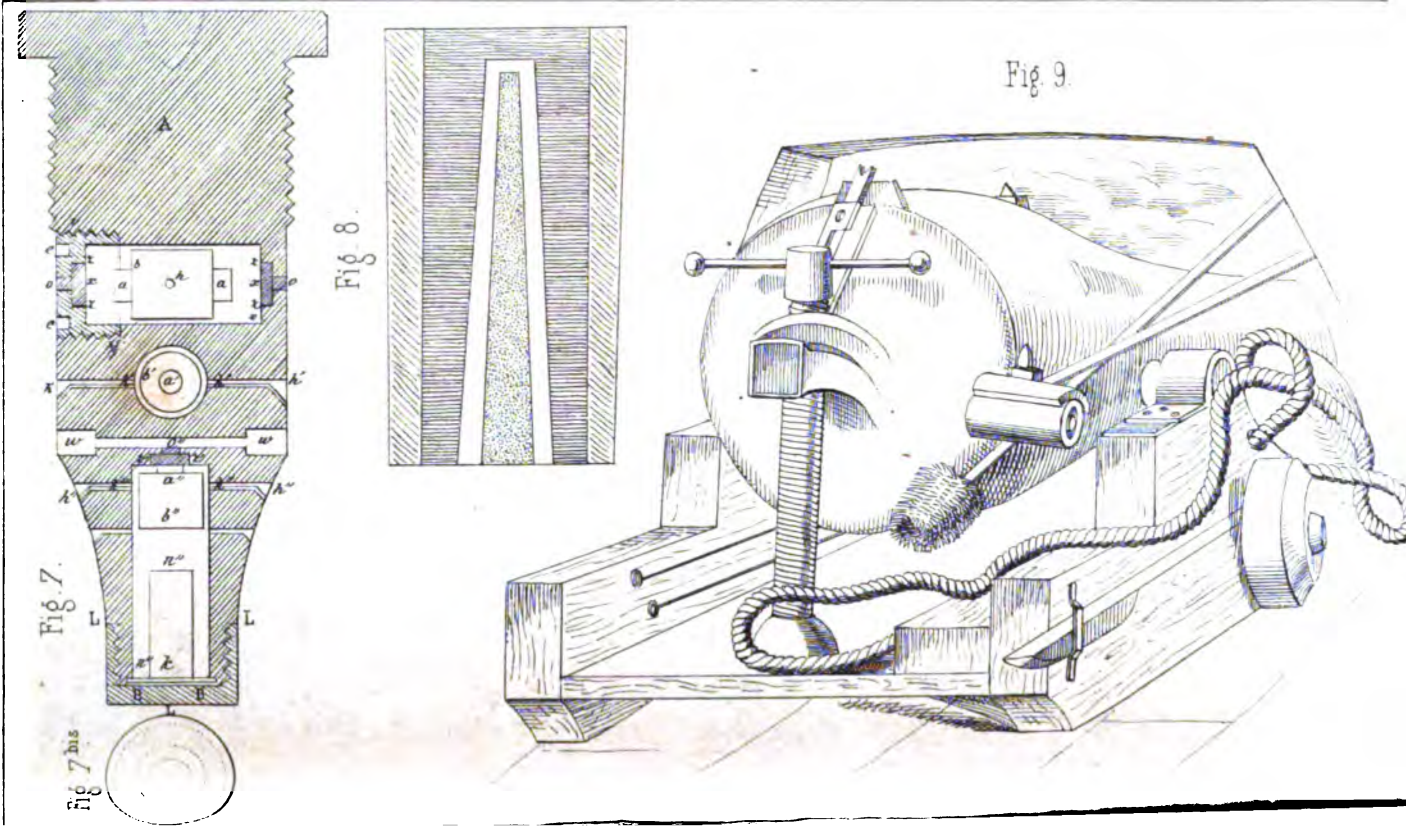

Fig. 7.
Fig. 7 bis
A
L
L
B
B
Fig. 8.
Fig. 9.



Fig 10

Fig 11

Fig 12

Fig 13

Fig 14.

Fig. 15.

Fig. 18.

Fig. 19

Fig. 16.

V R

Fig 21

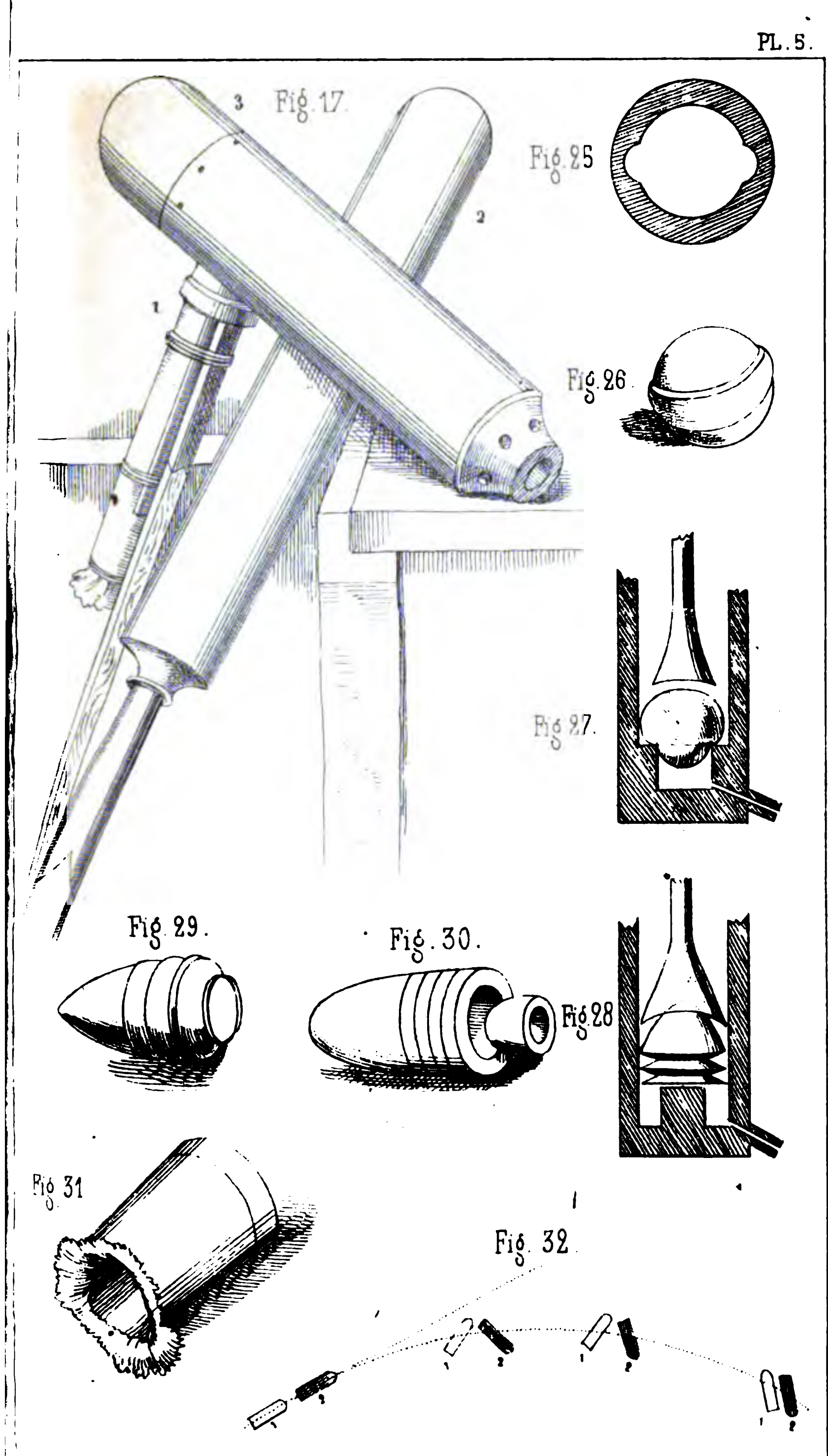
Fig. 22

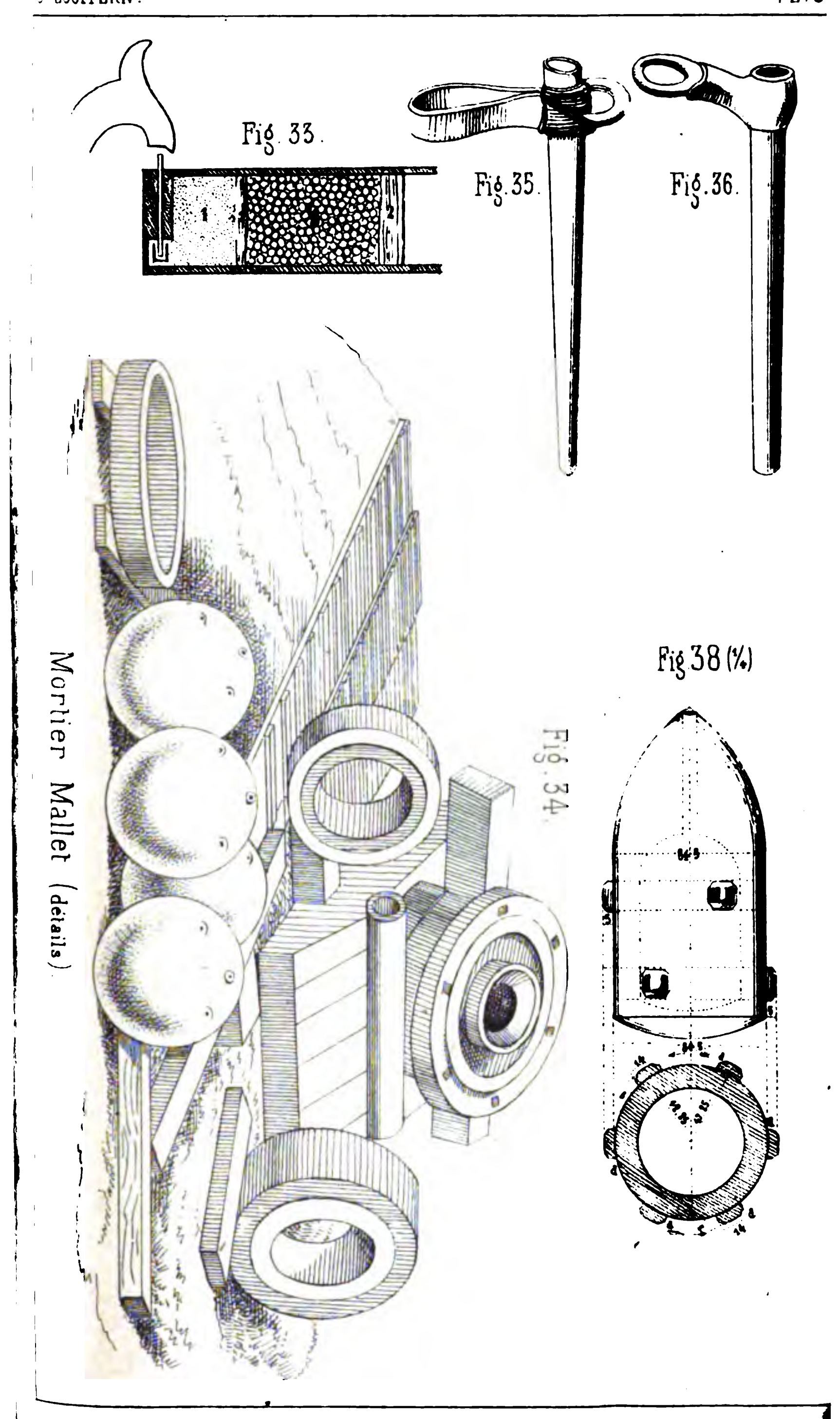
Fig. 24.

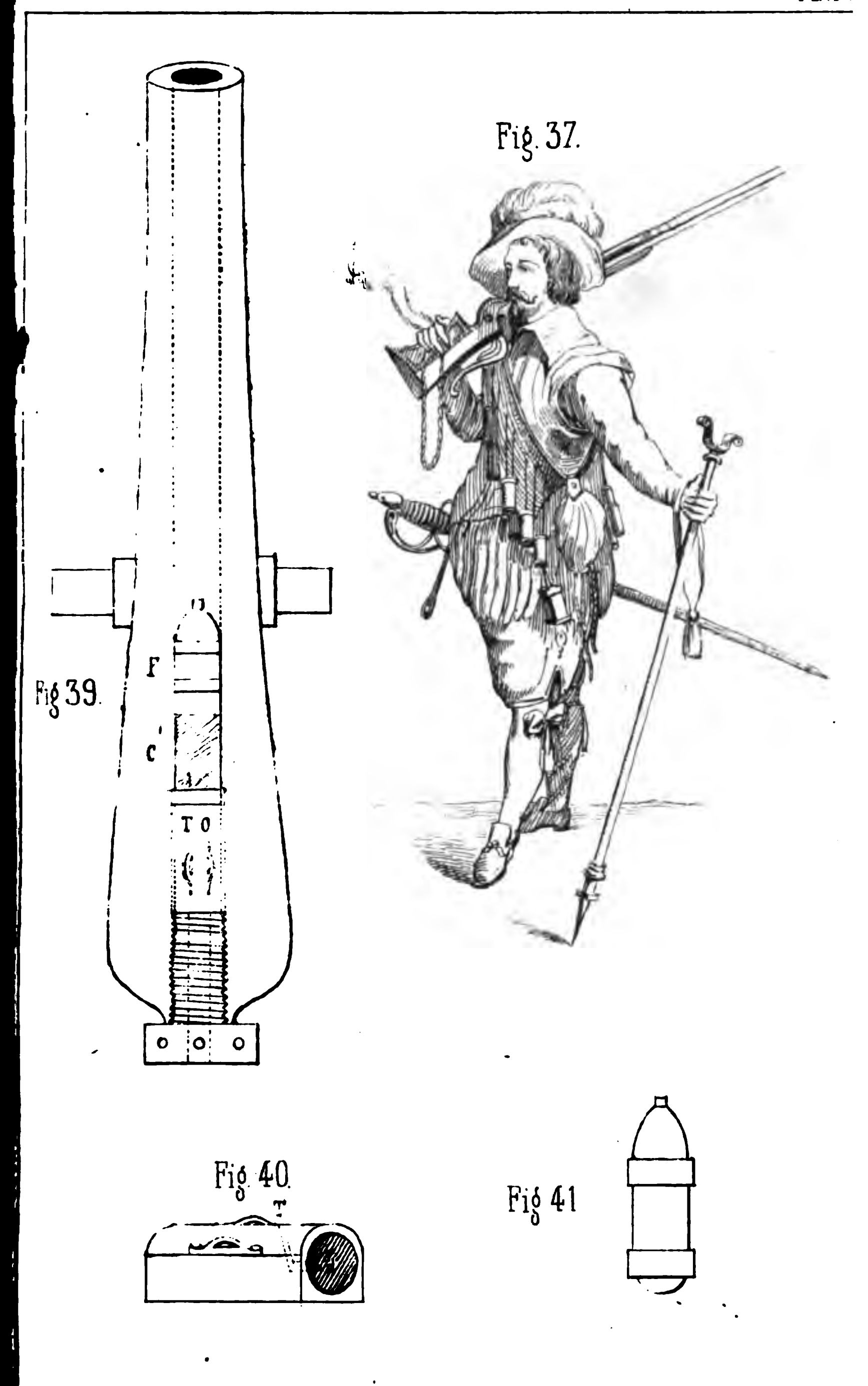
Fig. 23bis

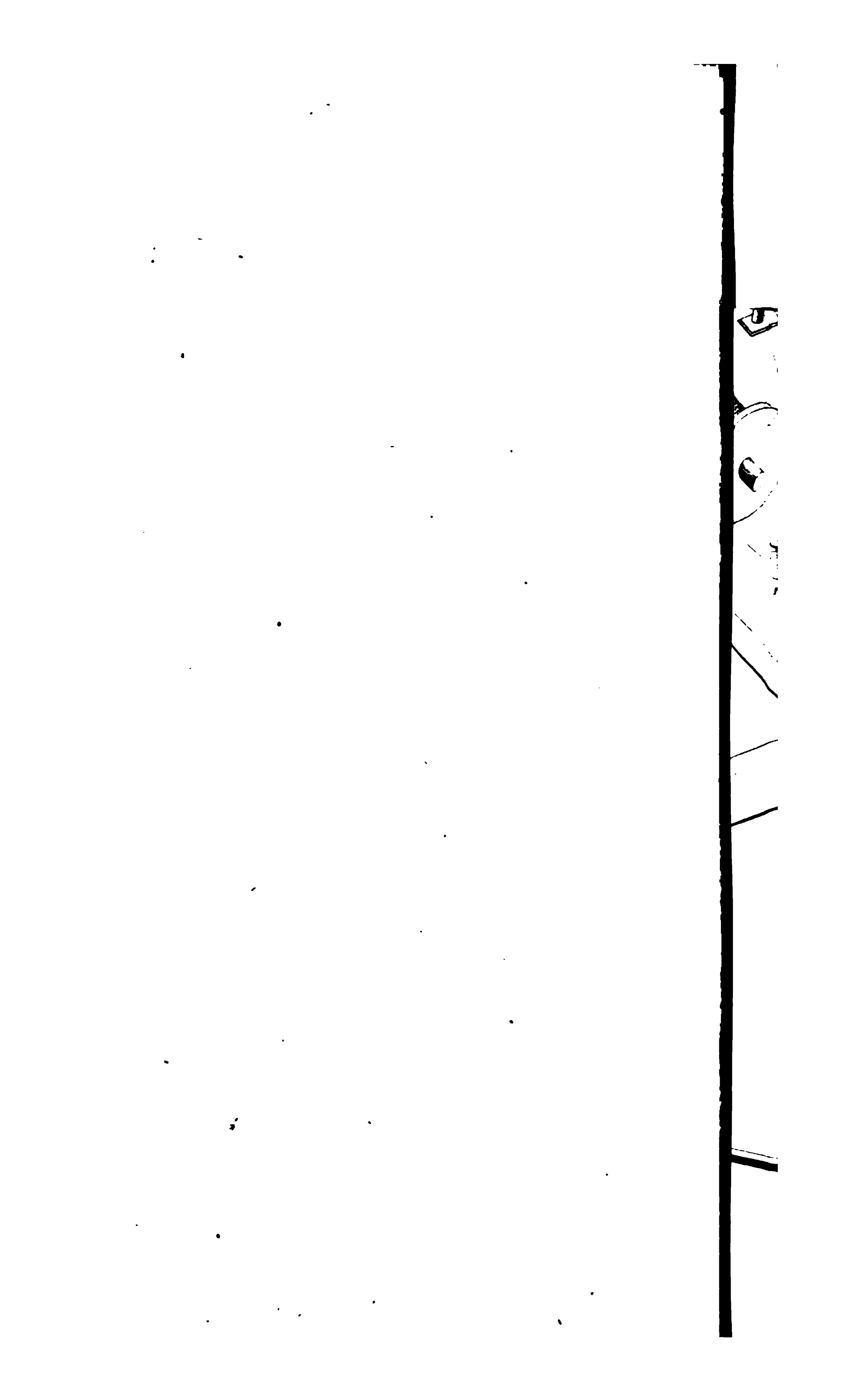
Fig. 23

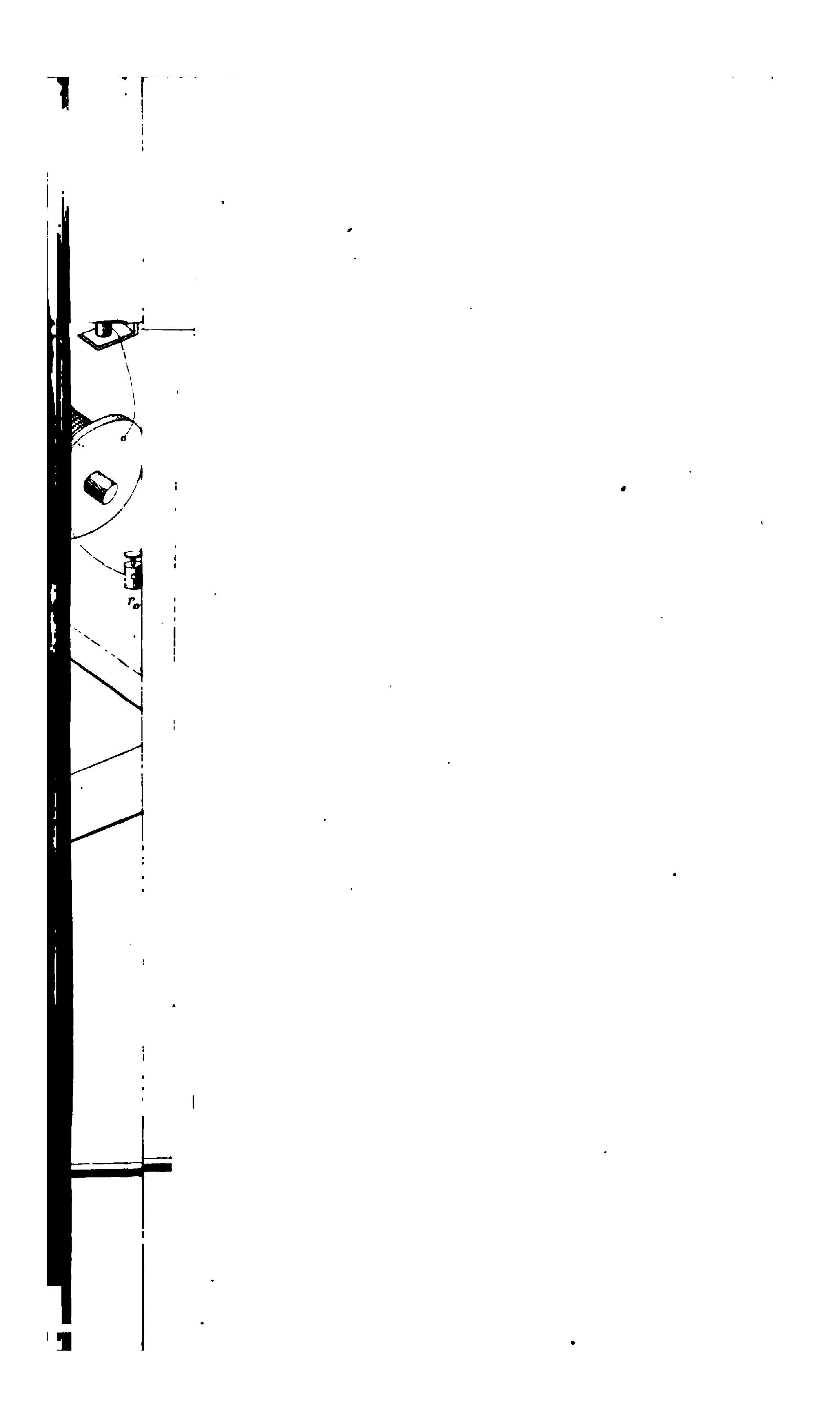
Fig. 20

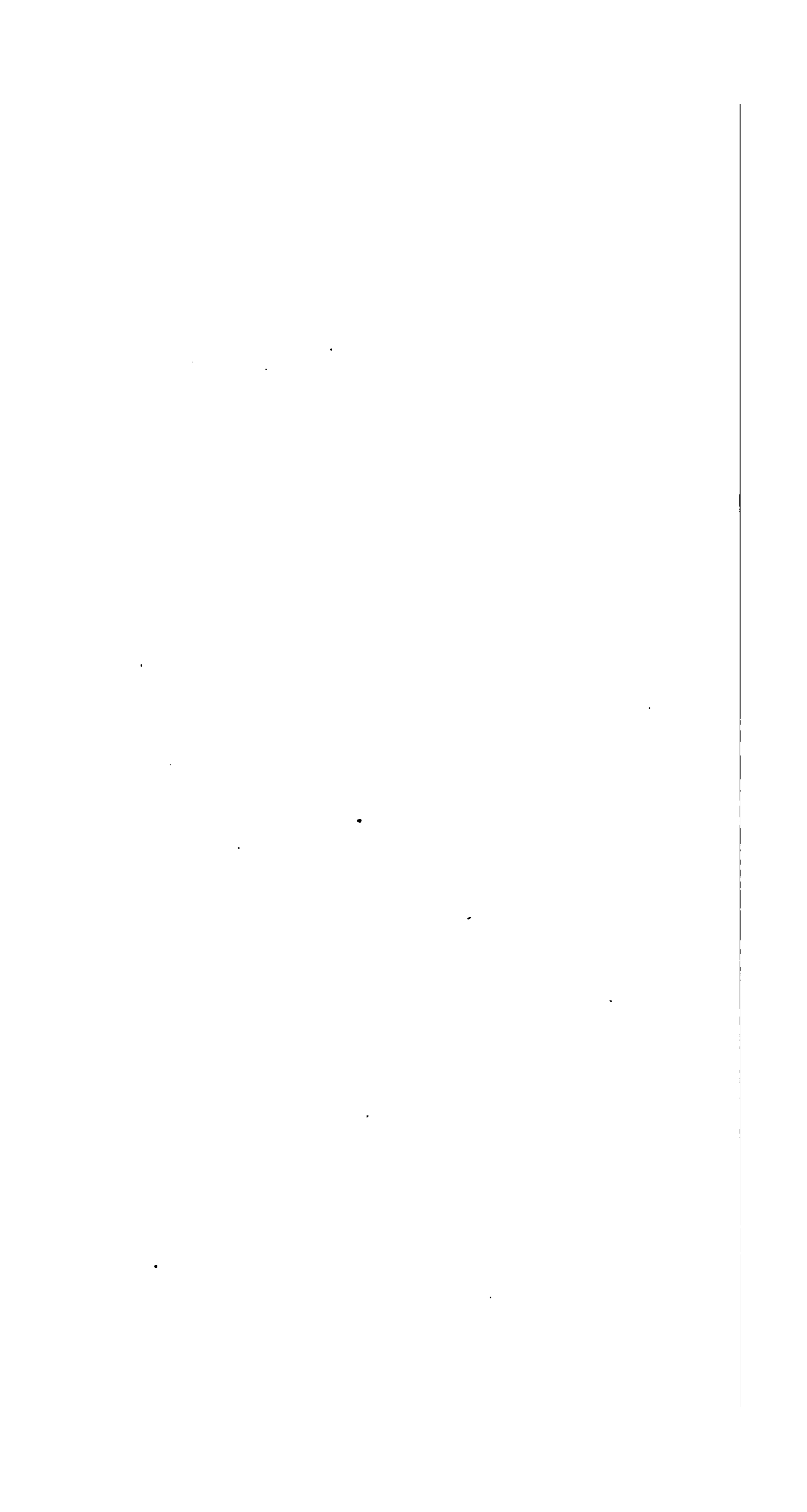

Fig. 17.
3
2
1
Fig. 25
Fig. 26.
Fig. 27.
Fig. 28
Fig. 29.
Fig. 30.
Fig. 31
Fig. 32.


Fig. 33.
1
2
Fig. 35.
Fig. 36.
Fig. 34.
Mortier Mallet (details)
Fig 38 (¼)


Fig. 37.
Fig 39.
F
C
T O
Fig. 40.
T
Fig 41




r0



JOURNAL

DES ARMES SPÉCIALES.

JOURNAL

DES

ARMES SPÉCIALES

ET DE

L'ÉTAT-MAJOR

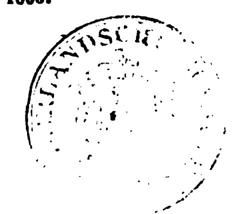
RECUEIL SCIENTIFIQUE

Du Génie, de l'Artillerie, de la Topographie Militaire, etc., etc.

PUBLIÉ SUR LES DOCUMENTS FOURNIS PAR LES OFFICIERS
DES ARMÉES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

PAR J. CORRÉARD,
Ancien Ingénieur.

CINQUIÈME SÉRIE. — TOME VI. — 30e ANNÉE.
15 Avril, 15 Mai et 15 Juin 1863.
Nos 4, 5 ET 6.



PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE, MARITIME ET POLYTECHNIQUE
J. CORRÉARD, éditeur.
PLACE SAINT-ANDRÉ-DES-ARTS, 3
Maison de la Fontaine Saint-Michel.

1863

L'ESTACADE FLOTTANTE

ESSAI THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par G. de S. officier du génie de l'a. R.

AVANT-PROPOS.

La question de la défense des côtes et des places maritimes a occupé ce dernier temps et occupe encore l'attention des hommes d'État et des ingénieurs; les opinions sont encore toutefois partagées, une invention après l'autre vient accroître le nombre des données, et malgré toutes ces améliorations et tous ces progrès la question reste toujours encore pendante et loin de la résoudre, il est difficile de poser les règles générales sur des bases solides et inattaquables.

Nous ne nous permettrons point de faire ici la critique des diverses opinions énoncées dans cette matière par des personnes compétentes,

nous tenons seulement à constater notre conviction individuelle, que nous ne saurions avoir une croyance aveugle dans l'invulnérabilité des bâtiments cuirassés, tels qu'ils sont construits jusqu'à présent; aussi une défense basée sur des forts agissant en commun avec des batteries flottantes nous paraîtrait-elle toujours comme pouvant satisfaire aux conditions actuellesde l'art de fortifier. Un pareil système n'est pas dépourvu, il est vrai, d'inconvénient comme particulièrement celui que les bâtiments cuirassés, doués d'une grande vitesse, auront toujours la possibilité de forcer le passage entre les forts et de se frayer un chemin en tournant les forts et les batteries de côte, attendu que l'efficacité du tir de l'artillerie, tant des forts que des côtes, quel que soit le calibre des pièces et la précision du tir en temps de paix, sera sinon annulé, du moins notablemennt réduit par la vitesse de la marche des bâtiments et par la fumée répandue de tout côté.

Ces considérations, jointes à la plus grande résistance des bâtiments cuirassés au choc des projectiles, ont appelé l'attention des officiers du génie sur les estacades flottantes, qui ont pour but d'arrêter la marche des bâtiments ou du moins de

la ralentir considérablement. C'est une étude de cette question que présente notre petit essai.

Pour pouvoir réaliser l'idée d'une estacade flottante dans les conditions les plus favorables, et d'après les règles de l'art de la construction, animé en outre de la pensée qu'un pareil travail offrirait quelque utilité, nous nous sommes strictement tenus à la théorie qui, par ses applications fécondes, quoique parfois mal comprises par les praticiens, est tout à fait indispensable dans toute question pratique chaque fois que l'on veut connaître les lois et la source d'où elles découlent.

Nous n'avons nullement la prétention de présenter ici une solution complète et définitive de ce problème compliqué, c'est plutôt un examen général de cette question et son application pratique que nous avons particulièrement en vue.

G. DE S.

Saint-Pétersbourg.

PREMIÈRE PARTIE.

Recherches théoriques.

Avant d'exposer la construction de l'estacade flottante projetée ci-dessous, nous examinerons préalablement les effets qui se manifestent en général, lorsqu'un navire d'une grandeur déterminée, doué d'une certaine vitesse, aborde un corps inerte flottant paisiblement sur la surface de l'eau. Les considérations, déduites de l'examen théorique des causes qui participent à cet effet nous indiqueront les principes qui doivent servir de base aux règles à suivre dans la construction des estacades flottantes, et nous indiqueront en même temps les moyens propres à être employés pour prévenir autant que possible l'effet désastreux du choc que produit l'inertie des navires.

Mouvement dû à l'inertie du navire.

Le navire, en abordant dans sa marche un corps flottant, agit sur celui-ci en vertu de deux forces distinctes et différentes dans leur mode d'action ; l'une, l'inertie du navire, ou sa force vive développée en lui par suite de l'impulsion de la force motrice, et la seconde, la force motrice elle-même qui pousse le navire dans la direction du mouvement et avec une certaine vitesse. Dans l'acte de collision même du navire avec le corps flottant, ou ces deux forces participeront simultanément, ou l'inertie du navire agira seule, tandis que la force motrice, durant ce temps, aura cessé toute action.

Considérons maintenant les effets produits dans ces deux cas, et supposons, en premier lieu, que le navire A du poids P se meut avec une vitesse finie V précédemment acquise, et rencontre, dans le sens perpendiculaire à son mouvement, un corps flottant B en repos, du poids p. Posons de même que le navire A ainsi que le corps B, sont privés d'élasticité, ce qui aura aussi lieu en effet pour le cas ci-dessus.

Il est évident que, de la rencontre mutuelle de ces deux corps, résultera un choc qui produira une déformation des corps, une diminution de la vitesse du navire, et, par conséquent, l'anéantissement d'une certaine partie de sa force vive. A l'aide des formules connues du choc des corps, nous pouvons calculer la quantité de travail dépensé par l'inertie du navire contre le corps, pour imprimer à celui-ci une certaine vitesse. Ainsi, en appelant M la masse du navire, sa quantité de mouvement avant le choc serait $MV = \frac{PV}{g}$, et après le choc $(P + p)\frac{U}{g}$, U étant la vitesse commune aux deux corps après le choc. Mais $\frac{PV}{g} = \frac{P+p}{g} U$, d'où l'on trouve $U = \frac{PV}{P+p}$. La force vive, restée libre après le choc, est représentée par $\frac{(P+p)U^2}{g} = \frac{P^2 V^2}{2g(P+p)}$; quant à la perte de la force vive occasionnée par la réaction ou détruite par le choc même, elle sera $\frac{p}{P+p} \cdot \frac{PV^2}{2g}$. De l'expression $U = \frac{PV}{P+p}$ nous trouvons $p = \frac{PV}{U} - P$, d'où nous pourrons déterminer le poids du corps B, si les vitesses U après le choc et V avant le choc, étaient données d'avance.

On voit par là que, plus la masse du corps B est

considérable, plus grandes seront les pertes de vitesse et de force vive occasionnées par le choc ; ainsi, pour diminuer la vitesse commune aux corps A et B, cheminant ensemble après le choc, il faut augmenter le poids du corps exposé au choc.

Les pertes de force vive et de vitesse du navire données par les formules précédentes auront lieu dans le cas seul où le corps B serait parfaitement libre, c'est-à-dire si nous supposions que ce corps se trouve dans l'air au même moment que le navire l'aborde, ce qui n'est pas le cas, attendu que le corps B est plongé dans l'eau. Il est visible qu'une certaine masse d'eau Q, se trouvant en contact immédiat avec la proue du corps B, participera aussi nécessairement à l'absorption de la force vive du navire. Évidemment, cette masse d'eau Q dépendra de la surface de la proue ab du corps B (fig. 1), et de l'effort que fera le navire au moment du choc à imprimer au corps et à la masse d'eau Q sa vitesse initiale V; de sorte que dans le sens exact, la force vive du navire sera censée vaincre la masse inerte d'un corps dont le poids serait $p+p'$, en comprenant sous p' le poids du volume d'eau Q.

Pour nous former une idée plus claire du mode d'action de la masse des corps participant au choc, nous pourrons supposer qu'une partie de la force vive du navire a été dépensée pour vaincre l'inertie du corps B du poids p, tandis qu'une autre partie a été absorbée par la masse inerte d'un second corps Q, qu'il nous sera permis de nous représenter comme entièrement isolé de l'eau environnante et dont le poids serait p'.

En effet, la force vive du navire, tendant à communiquer au corps B la vitesse V, imprime aux molécules élémentaires de l'eau, placés en arrière de ce corps, des vitesses, qui seront à tout moment donné, proportionnelles à la vitesse V, de manière que l'espace élémentaire que ces molécules parcourent $ds = Vdt$; toutefois la somme des molécules élémentaires entraînées par le mouvement du navire Σq, sera d'autant plus grande, qu'augmentera la surface immergée du corps B perpendiculaire à la direction du mouvement. Ainsi, dans chaque unité de temps, le volume d'eau sera proportionnel à la surface ω de la section ab du corps, de même qu'à la vitesse du navire V ; c'est-à-dire $\Sigma q = Q = \omega V$.. Le poids de ce volume d'eau sera $p' = \beta Q = \omega V \beta$, en appelant β le poids de l'unité de vo-

lume d'eau. Or donc, la valeur $p + p' = p + \omega\beta V$, représente à proprement parler le poids de tout le système exposé au choc. Ainsi, en poursuivant les calculs, nous trouvons que la vitesse commune au système des corps réagissant l'un sur l'autre après le choc, se formulera ainsi : $U' = \frac{PV}{P + p + \omega\beta V}$, ou pour abréger les calculs en désignant $p + \omega\beta V$ par P', nous aurons $U' = \frac{PV}{P + P'}$; si la quantité $\beta\omega V$ est insignifiante en comparaison de P et p, dans ce cas,

$$U' = U = \frac{PV}{P + p}.$$

Tous les phénomènes précités qui ont lieu lors du choc du navire accompagnent le premier moment de la collision, qui amène une déformation des corps respectifs, en consommant à cet effet une partie notable de la force vive primitive du navire, exprimée par $\frac{PP'}{P + P'} \cdot \frac{V^2}{2g}$; l'autre partie de cette force vive, restée libre après le choc, et qui est l'excès de la force vive totale que le navire possédait avant le choc, comparativement à la force vive absorbée par la déformation même et dont $\frac{P^2}{P + P'} \cdot \frac{V^2}{2g}$ exprime la valeur, évidemment exercera encore ultérieurement une action sur le navire et le corps B, et en vertu de cette action de nouveaux phénomènes au-

ront lieu et constitueront le second moment de collision.

A la suite du plus grand effet produit par le choc, cette force vive libre imprime au navire et au corps B, poussé par le premier, un mouvement en avant avec la vitesse U', qui durera jusqu'à l'absorption complète de cette force par la résistance que lui opposent ces corps à leur motion ; mais, comme une partie du navire et du corps B est immergée dans l'eau, il est clair que le mouvement en avant rencontrera une certaine résistance, motivée par la difficulté qu'éprouvent les corps à se mouvoir dans l'eau. Or, il est connu que la valeur de cette résistance dépend de la surface immergée des corps perpendiculaire à la direction du mouvement et qu'elle accroît presque proportionnellement au carré de la vitesse ; par conséquent, le navire et le corps B avanceront jusqu'à ce que la force vive libre après le choc soit anéantie par le travail de la résistance de l'eau ; supposant toujours, comme nous l'avons déjà fait plus haut, que la force motrice du navire aurait cessé d'agir. Nous tâcherons maintenant de déduire les relations existantes entre la force vive libre après le choc et la résistance de l'eau.

Des formules précédentes, nous trouvons que cette force vive libre a pour valeur l'expression $\frac{P^2}{P+P'} \cdot \frac{V^2}{2g}$, où $P' = p + \omega\beta V$. Mais β étant le poids de l'unité du volume d'eau, p ex: 1 mètre cube du poids 1,000 kilog. (ou 1 pied cube du poids 1,7 pond.) de la $P' = p + 1000\,\omega V$ ou $(P' = p + 1,7\,\omega V)$ V étant la vitesse en mètres et ω la surface en mètres carrés.

D'accord avec les formules connues de la résistances des fluides au mouvement, nous aurons, dans le cas qui nous intéresse, l'expression suivante pour la résistance de l'eau : $R = \frac{\beta U'^2}{2g}(\omega K + \omega' K')$ vu que la force vive du navire doit vaincre les résistances de l'eau dans les surfaces ω et du corps B, et ω' du maître-couple du navire A. Dans cette formule, β — le poids d'unité du volume de l'eau, K— le coefficient dépendant de la partie immergée du corps flottant, la valeur duquel pour notre cas peut être assez sensiblement admise comme égale à 1,32 d'après Poncelet (plus exactement ce coefficient pourrait être déterminé par la formule de Duchemin

$$K = 1,254\left[\frac{1 + 0,277\,L}{9\sqrt{\omega} + k}\right]$$

en désignant par L l'épaisseur du corps), K' le coefficient qui dépend de la forme de la partie immergée du navire et du rapport de sa longueur à sa largeur, lequel étant pour les navires de guerre du premier rang ordinairement comme 4 : 1 ; on peut donc admettre que K' = 0,11. R désigne un effort ou la résistance de l'eau mesurable en poids. Le travail de la résistance dans l'unité du temps serait, par conséquent, RU', si la vitesse U' restait rigoureusement uniforme ; mais, comme à chaque motion élémentaire ces corps rencontrent une résistance qui, pour être surmontée, absorbe un certain travail, la force vive libre diminuera nécessairement et, comme la masse des corps est constante, il s'ensuit que la vitesse sera modifiée, et sa valeur moyenne serait $\frac{U'}{2}$. La résistance de l'eau décroît proportionnellement au carré des vitesses, conséquemment sa valeur moyenne R' décroîtrait dans les limites des vitesses entre $x = 0$ et $x = U'$, donc elle sera :

$$R' = \frac{\beta}{2g}(\omega K + \omega' K') \int_0^{U'} x^2 dx = \frac{BU'^2}{6g}(\omega K + \omega' K').$$

Tout le travail de la résistance développé dans un temps donné t sera égal à $R'e$ en désignant par e

l'espace que peut parcourir le corps mû par l'inertie du navire.

Conformément aux raisonnements ci-dessus, la force vive libre après le choc $\frac{P^2V^2}{(P+P')\,2g}$ sera consommée pour imprimer au navire et au corps B un mouvement progressif en avant pendant un certain temps t; ce mouvement sera retardé à chaque moment donné par la résistance $R'e$ qu'éprouve ce corps à avancer dans l'eau. Il en résulte que, pour arrêter la marche de ces corps, qui ont parcouru le chemin e, la relation entre la force vive du navire et la force retardive qui lui est opposée, serait exprimée par l'équation $\frac{P^2\,V^2}{(P+P')2g} - R'e = 0$, ou bien $\frac{P^2\,V^2}{(P+P')\,2g} = R'e$. En substituant à R' sa valeur, on aura :

$$e = \frac{P^2\,V^2}{(P+P')\,2gR'} = \frac{3P^2\,V^2}{\beta\,U'^2\,(\omega K + \omega' K')};$$

mais $U' = \frac{PV}{P+P'}$, ainsi, en remplaçant U' par sa valeur dans celle de e, on a $e = \frac{3\,(P+P')}{\beta\,(\omega K + \omega' K')}$ ou en posant les valeurs numériques $\beta = 1000$ kilog. $K = 1{,}32$; $K' = 0{,}11$, on trouve $e = \frac{3\,(P+P')}{1320\omega + 110\omega'}$, en mètres; ou encore $e = \frac{3\,(P+P')}{2{,}24\omega + 0{,}187\omega'}$, en pieds

russes. Pour simplifier les calculs, représentons β ($\omega K + \omega' K'$) par A, de sorte que $e = \frac{3(P+P')}{A}$. Or, il est clair que le chemin parcouru e de même doit être égal au produit de la vitesse moyenne par le temps t, ou $e = \frac{U'}{2} t$, d'où l'on tire $t = \frac{2e}{U'}$. En substituant à e et U' leurs valeurs respectives, on aura

$$t = \frac{6(P+P')^2}{APV}.$$

Par suite des faits exposés, nous arrivons à la conclusion qu'un navire du poids donné P, mû par une vitesse V, en abordant un corps flottant des dimensions connues, déplace ce corps à une distance $e = \frac{3(P+P')}{A}$ (form. I) dans l'espace de temps $t = \frac{6(P+P')^2}{APV}$ (form. II), avec une vitesse initiale maximum $U' = \frac{PV}{P+P'}$ (form. III). Dans ces formules, $P' = p + \beta\omega V$ (form. IV), la force vive libre après le choc sera $\frac{P^2 V^2}{(P+P') 2g}$ (form. V), et la force vive absorbée par le choc sera $\frac{PP' V^2}{(P+P') 2g}$ (form. VI).

Il nous reste encore à déduire des formules précédentes la valeur de l'aire ω, de la proue du corps flottant ; or, l'aire cherchée ω ne peut être détermi-

née, que quand le chemin parcouru e sera préalablement donné et c'est alors qu'en posant l'égalité $\frac{P^2 V^2}{(P + P') 2g} = R'e$, et substituant à R' et P' leurs valeurs respectives, que nous arriverons en dernier résultat à l'équation $3 (P + p + \beta \omega V) = \beta (\omega K + \omega' K') e$ d'où l'on tire $\omega = \frac{3 (P + p)}{\beta (Ke - 3V)} - \frac{\omega' K' e}{Ke - 3V}$. Cette expression fait voir que l'aire ω dépend essentiellement des poids du navire et du corps flottant. Ainsi par des opérations exposées ci-dessus, nous avons déterminé l'effet produit par l'inertie d'un navire en marche, sur un corps flottant, abstraction faite de la force motrice placée dans le navire même que nous avons supposé être en repos. Mais, si cette force continuait à imprimer au navire une vitesse constante, cette force additionnelle influencera évidemment le corps B, ainsi qu'en général l'effet de la collision réciproque. Examinons maintenant les phénomènes, dans le cas d'une pareille supposition.

Mouvements dûs au moteur placé dans le navire.

De même que pour le cas précédent, il nous reste à déterminer la vitesse constante avec laquelle le navire et le corps seront sollicités par la force

motrice. Pour plus de simplicité, il nous sera permis d'examiner ce mouvement, abstraction faite de l'inertie du navire, après que celui-ci et le corps B ayant parcouru, en vertu de l'inertie, un certain chemin, se seront arrêtés. Le moteur placé dans le navire, comme nous l'avons déjà remarqué plus haut, développe un certain travail utile que nous appelerons Q, employé pour imprimer au navire la vitesse V, en surmontant la résistance que l'eau appose à la marche du navire dans la section du maître-couple. Au moment que nous examinons, ce même travail moteur doit être absorbé, non-seulement par la résistance qu'éprouve le navire à avancer, mais aussi par celle du corps B', de sorte qu'en dernier lieu la vitesse primitive V, par l'accroissement de résistance, sera notablement réduite, et aura pour valeur une autre vitesse que nous désignerons par U". Il en résulte que le travail de la force motrice est égal au travail absorbé par la résistance de l'eau, produit par une vitesse U", et les surfaces perpendiculaires au mouvement ω' et ω du navire et du corps B, c'est-à-dire que $Q = \frac{\beta}{2g}(K\omega + K'\omega')\,U''^3$. En désignant, comme l'avons fait plus haut $\beta\,(\omega K + \omega' K')$ par A, on aura

$Q = \frac{AU''^2}{2g}$, d'où l'on tire $U'' = 4\sqrt{\frac{Q}{A}}$ (form. VII). Ce qui fait voir qu'en ayant la valeur de la force motrice, on est à même de déterminer la vitesse cherchée U''.

Quant à la valeur Q qui, dans les cas pratiques, sera toujours donnée, elle peut être aussi, toutefois, approximativement déduite par des calculs, lorsqu'on connaît la section du maître-couple du navire. Or, une machine à vapeur, placée dans un navire, développe un travail utile qui doit être égal au travail absorbé par la résistance que l'eau oppose à la marche du navire dans la section du maître-couple, avec une vitesse V. De sorte que $Q = \frac{\omega'\beta K'}{2g} V^2 = \frac{A\,U''^2}{2g}$, ce qui donne $U''^2 = \frac{\omega'\beta K' V^2}{A}$ et, par suite, $U'' = V\sqrt{\frac{\omega'\beta K'}{A}}$ (form. VIII).

Maintenant, il ne nous reste qu'à déterminer la relation réciproque existante entre la surface de la proue ω du corps B et la vitesse de la course U''; nommément en supposant la vitesse U'' commune au navire et au corps B, cheminant ensemble, fixée d'avance par des raisonnements spéciaux, il s'agirait de déterminer la grandeur de l'aire correspondant à cette vitesse. Dans ce cas, nous déduirons la valeur de l'aire ω très-aisément de

l'équation $\frac{\beta}{2g}\,\omega K U''^3 + \frac{\beta}{2g}\,\omega' K' U''^3 = \frac{\omega\beta K' V^3}{2g}$, où le premier terme représente le travail absorbé par la résistance de l'eau que rencontre le corps B dans sa course avec une vitesse donnée U″; le second terme, le travail que l'eau oppose à la marche du navire dans la section du maître-couple, avec la même vitesse U″, et enfin, le troisième terme désigne la valeur du travail que la force motrice est susceptible de développer en y imprimant au navire seul une vitesse V, ou bien autrement, ce dernier terme represente le travail utile de la machine placée dans le navire. Cette équation se réduit après les calculs nécessaires, à l'expression $K\omega U''^3 = K'\omega'(V^3 - U''^3)$, d'où l'on tire $\omega = \frac{K'\omega'}{K}\left(\frac{V^3}{U''^3} - 1\right)$ et en substituant à K et K′ leur valeur numérique, on aura $\omega = 0{,}083\,\omega'\left(\frac{V^3}{U''^3} - 1\right)$. (form. IX).

Nous terminerons cet aperçu par l'observation que, dans le cas où l'inertie du navire et la force motrice agiront simultanément, la vitesse de la course imprimée au navire et au corps sera évidemment égale à la somme des vitesses, dues à l'inertie, et à la force d'impulsion; aussi, en appelant cette nouvelle vitesse W, nous aurons $W = \frac{U'}{2} + U''$. On voit, des énoncés précédents, que le tra-

vire et le corps B ne pourront être doués de cette vitesse W que durant l'espace d'un certain temps t, après l'expiration duquel ces corps ne seront mus qu'avec la vitesse U".

En comparant les vitesses U' et U" produites par des causes différentes, et dont les valeurs sont données par les formules précédentes ou $\frac{U'}{2} = \frac{P}{2(P+P')} V$ et $U'' = \sqrt{\frac{\omega'\beta K'}{A}} . V$, il est visible que la première dépend particulièrement des poids du navire et du corps, tandis que la seconde dépend des surfaces du maître-couple et de la proue du corps B, ce qui donne la proportion

$$\frac{U'}{2} : U'' = \frac{P}{2(P + p + \beta\omega V)} : \sqrt{\frac{\omega\beta K'}{\omega K + \omega' K'}}.$$

Mais le poids $P = \omega' l$ où l serait une certaine longueur moyenne du navire, de même $p = \omega h$ où h désignerait une largeur moyenne du corps. En substituant ces valeurs dans la proportion ci-dessus, nous aurons pour les deux derniers termes l'expression :

$$\frac{\omega' l}{2(\omega' l + \omega h + \omega V)} : \sqrt{\frac{\omega' K'}{\omega K + \omega' K'}}.$$

Or, comme les valeurs de l, h et V sont toujours beaucoup plus grandes que celles de K et K', on

trouve, en examinant de plus près ces expressions, que la vitesse U″, due à la force motrice, sera toujours plus grande que U′, due à l'inertie du navire. Ainsi, pour parvenir à une évaluation juste, de l'aire ω de la proue du corps B, il faut effectuer ces calculs en tenant compte de la vitesse U″, car les conditions dérivées de cette manière seront en même temps satisfaisantes pour l'aire ω déduite de la vitesse U′.

Examen des causes qui amènent le plongement d'un corps flottant.

Le navire, en abordant un corps quelconque, produit sur ce dernier encore d'autres effets que ceux qui étaient l'objet des raisonnements précédents, effets qui naîtront de la décomposition respective des forces actives, et qui, nécessairement, exerceront une influence sur la stabilité du corps. Il est évident que le navire, ayant un tirant d'eau déterminé, ne peut occasionner le plongement d'un corps flottant quelconque, par son propre poids, mais que ce plongement est dû à la décomposition des forces agissantes sur le navire qui, à son tour, dépend des formes respectives du navire et du corps.

Pour nous former une idée plus exacte, supposons que le corps B, d'une section rectangulaire *abc* (fig. 2), flotte librement sur la surface de l'eau étant immergé à une profondeur *hc*, et que le centre de gravité O du corps coïncide avec le centre de la figure. Supposons en second lieu que la poupe du navire CD est verticale. Il est visible, d'abord, que la collision réciproque s'effectuera en CD et *ad*, mais, attendu que la force dont le navire est doué, agit dans le sens horizontal, et qu'en choquant la surface verticale du corps B elle ne peut se décomposer, ce dernier est appelé à se mouvoir dans le sens du mouvement du navire, de sorte que, dans de pareils cas, le plongement du corps B ne peut avoir lieu.

Les choses ne se passeraient point ainsi, si le même corps B était abordé par un navire dont la poupe CD ferait avec la verticale un certain angle *a*. En effet, la rencontre du navire avec le corps B s'effectuera au point *a* de l'arête supérieure du corps (fig. 3) et qui sera en même temps le point d'application de la force d'impulsion F du navire. Si l'on observe maintenant que la partie *hc* du corps B est immergée dans l'eau, il est naturel que la résistance de l'eau R dans cette surface tendra

à faire obstacle au mouvement d'avance du corps. Le point d'application de la résistance R sera au milieu de hc au point g, D'un autre côté, il est clair de même que de la réaction réciproque des corps, à la surface de leur contact, naîtra un frottement. Or, comme les points d'application des deux forces F et R, se trouvent au-dessus et au-dessous du centre de gravité du corps B, et que leur direction est réciproquement opposée, il est évident qu'une rotation du corps B aura lieu autour du point O, si les moments respectifs des forces actives donnent lieu à l'expression suivante. $F.Oe + R.Og > Rf.Oa$. Cette rotation du corps durera aussi longtemps que la paroi $a'd'$ du corps ne coïncidera point avec la poupe du navire, lequel, pendant ce même temps, sera avancé d'un certain chemin mn.

Ainsi le corps B se trouvant dans la position $a'b'c'd'$, et faisant corps avec la poupe C'D' du navire, est sollicité en vertu du choc dans la direction du mouvement; mais, rencontrant dans la surface immergée $h'c'$ du corps une résistance que l'eau oppose au mouvement, la force d'impulsion F agissant en sens horizontal et dont le point d'application serait K, se décomposera en deux compo-

santes F_1 et F_2. La première de ces forces agissant dans la direction C'D', tend à soulever la poupe du navire et sera évidemment anéantie par le poids de ce dernier. La seconde F_2, agissant en sens perpendiculaire à la direction de la composante F_1, effectuera le plongement du corps, en surmontant la résistance de l'eau R', dans la surface $h'c'$ au commencement et $b'c'$ lors du plongement ultérieur. Par conséquent, si la force d'impulsion est connue aussi bien que l'angle α formé par la poupe du navire et une verticale, on est à même de déduire les valeurs pour les composantes obtenues ci-dessus, et nommément on aura $F_1 = F \sin \alpha$ et $F_2 = F \cos \alpha$. Cette dernière expression donne la valeur de la composante qui produit le plongement du corps flottant.

Ce qui concerne la valeur de l'effort effectuant la rotation du corps flottant autour de son centre de gravité, nous le trouverons aisément à l'aide des notions qui précèdent et qui montrent que cet effort rotatoire que nous appelerons F sera égal à $F . Oe + ROg - Rf . Oa$. En substituant, dans cette dernière expression, à F la valeur connue de la force vive libre après le choc, de même qu'à R le travail de la résistance de l'eau dans la surface de la

proue du corps, et, pour abréger, faisant $\rho U'^3 \alpha K = M$, nous arriverons, en simplifiant et résolvant les calculs à l'expression suivante pour la valeur de l'effort rotatoire, nommément à

$$F = \frac{P^2 V^2 \operatorname{Sin} \alpha}{(P + P') M} + \frac{Og}{3Os} - \frac{f}{3}.$$

Il est clair, qu'en connaissant la valeur de l'effort rotatoire, on pourra toujours amoindrir son effet en augmentant la résistance que l'eau oppose au mouvement rotatoire. D'un autre côté, si l'on suppose que le corps B est immergé à la profondeur *bc*, la force qui occasionne le plongement du corps ne changera pas de valeur, tandis que la résistance de l'eau accroîtra avec les dimensions de l'aire *bc*. L'effort rotatoire à son tour décroîtra, attendu que le point d'application de la résultante R des résistances de l'eau, serait au centre de gravité du corps ; par conséquent, cette force ne contribuera pas à la rotation du corps.

Ainsi, ces raisonnements font voir que le choc d'un navire produira dans tous les corps qu'il aborde une rotation autour de leur centre de gravité, si le point de contact du choc est situé sur l'arête supérieure ou inférieure du corps. Mais,

lorsqu'au contraire le point de contact se trouvera sur une ligne horizontale passant par le centre de gravité du corps, il est évident que les moments FOe et $Bf. Oa$ deviendront égaux à zéros et enfin, si, de même, nous supposions que le point d'application de la résultante R est au centre de gravité, ou que $Rog = 0$, alors la rotation du corps ne peut avoir lieu, et ce dernier sera censé avancer horizontalement dans la direction du mouvement du navire.

Toutes les considérations qui viennent d'être exposées au sujet du plongement d'un corps flottant librement à la surface de l'eau, nous mènent à la conclusion que, pour prévenir le plongement d'un tel corps, il est nécessaire que le point de contact où s'opère la réaction réciproque, le point d'application de la résultante des résistances de l'eau dans la proue du corps, et le centre de gravité du corps, soient sur une même ligne horizontale.

Nous avons toujours supposé que le corps B était libre, mais si, maintenant, nous admettons que ce corps soit attaché à un point fixe, outre les causes déjà analysées d'autres encore pourront contribuer à effectuer le plongement du corps. En

effet, supposons B (fig. 4) dont la forme serait déterminée d'après les conditions citées plus haut, de manière que sa rotation autour du centre de gravité, de même que le plongement ne peuvent avoir lieu. Si, de plus, on admet que le centre de gravité O d'un pareil corps, soit, par un lien quelconque *om*, attaché au point fixe *m*, il est visible que la force d'impulsion du navire F, rencontrant une résistance sous un certain angle dans la direction du lien *om*, se décomposera en deux composantes *p'* et *p''* dont la première, agissant dans le lien *om*, sera anéantie par la rigidité du lien, tandis que la seconde, agissant sous un certain angle de haut en bas, produirait le plongement du corps en surmontant la résistance que l'eau oppose au mouvement de descente dans l'angle *bcd*. On voit bien de là combien de pareils liens facilitent le plongement des corps flottants exposés au choc, et qu'ils ne peuvent être admis dans la question qui nous intéresse, sans exercer une influence nuisible.

Observations générales sur la déformation produite dans le corps par le choc du navire.

Dans les raisonnements précédents, nous n'avons

considéré que ce qui a lieu après l'instant de la plus grande compression qui répond à la fin du choc, sans avoir examiné les effets produits par le choc même. Évidemment, la force vive du navire, perdue pendant la compression, doit être précisément égale au double de la quantité de travail nécessaire pour produire l'altération de la forme ou de la constitution éprouvée par les deux corps. Or cette altération, ou plutôt cette déformation, dépend de la facilité avec laquelle cède le corps exposé au choc, à la pression produite par le navire, ou bien encore, plus grande sera sa facilité de céder moindre sera l'altération de la forme, et réciproquement. Ainsi, en supposant le corps flottant tout à fait libre, et nommant F_e A. L la résistance vive ou la quantité de travail développée par ce corps, dont A est l'aire de la surface de contact pendant le choc, et L, la largeur totale, nous aurons, d'après ce qui vient d'être dit :

$$\frac{PP'}{P+P'}\frac{V^2}{2g} \leqq F_e. A. L.$$

attendu que l'altération de la poupe du navire ne tirerait point à conséquence. Mais, si ce corps était attaché à des points fixes, en sens horizontal, par

ses deux extrémités, de manière à ne pas pouvoir céder à la force de percussion du navire, l'on sent très bien que toute la force vive que possédait le navire avant le choc sera entièrement consommée pour produire l'altération de forme, de manière qu'on aura :

$$\frac{PV^2}{2g} \leqq F_{,}.A.L.$$

Ces formules font voir que la déformation produite par le choc sera toujours moindre dans un corps flottant, libre, que dans un corps incapable de céder. De ces formules, il nous sera possible de déterminer, il va sans dire, seulement approximativement, la grandeur de la déformation d'un corps, produite par le choc d'un navire.

Mouvement d'un système de corps.

Après avoir étudié précédemment les phénomènes qui se manifestent au contact d'un navire en mouvement avec un corps en repos, et en en déduisant les règles générales à suivre dans un pareil cas, il nous reste encore à examiner les effets produits par un navire abordant tout un

système de corps réunis entre eux par des liens solides. Il serait difficile de donner autre chose que des indications générales sur la manière de résoudre cette question, attendu sa complexité. Le mode d'action des forces activées, de même que tous les phénomènes qui accompagnent l'acte de collision, se reproduiront d'une manière analogue à ceux que nous avons eu l'occasion d'étudier plus haut, mais la valeur des forces respectives, par suite de l'augmentation des masses et de la résistance de l'eau, se trouvera considérablement modifiée.

Supposons un certain nombre de corps flottants placés à distance et réunis entre eux par des chaînes, supposons en second lieu que des chaînes partant de corps placés aux deux extrémités du système viennent s'enrouler autour de poulies de points fixes situés des deux côtés du système des corps, de manière à ce que tout le système puisse librement céder à l'impulsion des forces étrangères agissantes sur lui.

Le navire, en abordant ce système de corps, au premier moment de la collision, est censé vaincre l'inertie du corps recevant le choc; or, comme ce corps est relié aux corps avoisinants, l'effet du

choc se transmettra à ces derniers et, par l'intermédiaire des liens, à tous les corps qui constituent le système; par conséquent tous ces corps participeront à l'absorption de la force vive du navire. De la même manière, il est évident que le navire, poussant devant soi le corps qui reçoit immédiatement le choc, imprimera à tout le système un mouvement progressif en avant, en surmontant la résistance que l'eau oppose au mouvement du système. Or, il est facile de comprendre que cette résistance de l'eau dépendra : 1° de la surface latérale ω du corps recevant le choc, qui est en même temps perpendiculaire à la direction du mouvement du navire, et 2° d'une certaine partie des surfaces latérales ω et transversales ω' des autres corps du système, qui forment un certain angle avec la direction du mouvement du navire.

On voit ainsi que tout le système de corps participera au choc, de même qu'au mouvement progressif appelé par l'effet du navire abordant. Analysons ces effets plus circonstanciellement encore, et supposons que le navire aborde un corps situé au milieu du système, par suite de quoi les corps avoisinants entraînés dans la motion formeront avec la direction du mouvement l'angle x

(fig. 6), ou formeront l'angle α avec la droite ab, de manière à ce que la surface opposée au mouvement des corps avoisinants ne sera point $ef = \omega$, mais $cd = cf + fd$. Appelant ω_1 l'aire de la section transversale fg d'un corps, on trouve des triangles cef et fgd, que $cf = ef \cos \alpha$ et $fd = fg \sin \alpha$, c'est-à-dire $cd = \omega \cos \alpha + \omega_1 \sin \alpha$. Les mêmes opérations faites pour les autres corps donnent :

$$c_1 d_1 = \omega \cos \alpha_1 + \omega_1 \sin \alpha_1 ; \; c_{11} d_{11} = \omega \cos \alpha_{11} + \omega_1 \sin \alpha_{11},$$

et ainsi de suite, supposant que les surfaces ω et ω_1 sont les mêmes dans tous les corps. Les angles α_1, α_{11}, α_{111}, etc., changeront continuellement de grandeur; on obtient le maximum de ces angles, si l'on tient compte seulement de l'inertie du navire, de l'expression suivante $no = e = \text{tang } \alpha_1 \, l$, où e désigne l'espace parcouru par le système de corps et le navire, et l la moitié de la longueur de tout le système. De là on déduit le maximum de valeur $\text{tang } \alpha_1 = \frac{e}{l}$, tandis que la valeur moyenne de tang α_1 sera (en appelant cet angle moyen par α) $\text{tang } \alpha = \frac{e}{2l}$ d'où l'on trouve l'angle α, supposant

la valeur de e donnée par la formule 1re connue préalablement.

Ainsi tous les corps, à l'exception du corps recevant immédiatement le choc, formeront avec la direction du mouvement un certain angle, par conséquent le coefficient de la résistance de l'eau au mouvement de pareilles surfaces sera évidemment moindre que dans le cas d'une surface perpendiculaire au mouvement. De sorte que le coefficient $K = 1,32$ ne peut être admis que pour le corps choqué, tandis que pour les autres corps sa valeur sera moindre et nommément $K_1 = 0,6$. Cette valeur de K_1 peut être admise vu que l'angle formé par le corps avec la direction du mouvement ne surpassera que de peu 90°. La formule $\alpha = \text{arctang}\ \frac{e}{2l}$ nous montre la valeur moyenne de l'angle sous lequel le système de corps sera avancé en vertu de l'inertie seule du navire, et qui sera anéantie par les résistances dans l'espace du temps t donné par la formule; après l'expiration de ce temps et en vertu de la force motrice placée dans le navire, une vitesse constante U'' sera imprimée au système de corps. Évidemment l'angle α augmentera le mouvement progressif du système de

corps et du navire, et à la fin atteindra son maximum qui sera 90°, ce qui peut avoir lieu quand le système sera déplacé de sa position primitive à une grande distance, et alors un corps sera en avant de la poupe du navire faisant corps avec lui, tandis que tous les autres corps seront parallèles aux surfaces latérales du navire en présentant au mouvement leurs surfaces transversales ω_1.

Il n'est pas probable qu'en pratique un pareil cas puisse avoir lieu, mais néanmoins la valeur de l'angle α sera beaucoup plus grande que celle que nous avons déduite plus haut. Plus l'angle α sera grand, moindre sera la résistance que l'eau opposera au mouvement du système de corps, parce que, comme nous l'avons vu, la grandeur des surfaces opposées au mouvement dépend de l'angle α. Dans nos calculs ayant pour but de déterminer les valeurs des chemins parcourus et des surfaces ω, correspondantes à une constante vitesse donnée U" dont le système de corps et le navire seraient animés, nous admettrons pour maximum l'angle moyen $\alpha = 45$ degrés, lorsque le système est tout à fait libre, et, pour minimum, l'angle moyen $\alpha = 22,5$ degrés, quand le système de corps n'est libre que dans les limites de 45 degrés.

Toutes ces considérations font voir que les formules précédentes doivent subir des changements; il s'agit donc de placer dans ces formules de nouvelles valeurs correspondantes au cas que nous examinons. Or, il convient de remarquer que 1° tous les corps constituant le système peuvent avoir les mêmes formes, les mêmes dimensions et le même poids, ou 2° que tous ces corps ont des constitutions différentes. Examinons le premier cas.

Plus haut nous avons déduit, pour le cas d'un seul corps abordé par un navire, les formules suivantes :

$$P' = p + \omega\beta V \text{ et } A = \beta(\omega K + \omega' K');$$

pour le cas qui nous intéresse, en appelant n le nombre des corps dans tout le système, nous aurons :

$$P' = np + \Big[\omega[1 + (n - 1)\cos\alpha] + (n - 1)\sin\alpha\omega_1\Big]\beta V.$$

Admettant l'angle $\alpha = 45°$, $\sin\alpha = 0{,}70$, et $\cos\alpha = 0{,}70$, en substituant ces valeurs numériques dans les formules précédentes, on a :

$$P' = np + \Big[\omega\,[1 + (n-1)\,0{,}70] + (n-1)\,0{,}70\,\omega_1\Big]\beta V.$$

De même on a :

$$A = \beta\Big[\omega\,[K + (n-1)\,K_1 \cos\alpha] + (n-1)\,\omega_1 K_1 \sin\alpha + \omega' K'\Big].$$

Or, $K = 1{,}32$, $K_1 = 0{,}6$, et $K' = 0{,}11$, $\sin\alpha = \cos\alpha = 0{,}70$, par conséquent :

$$A = \beta\Big[\omega\,[1{,}32 + (n-1)\,0{,}42] + (n-1)0{,}42\,\omega_1 + 0{,}11\,\omega'\Big],$$

β étant toujours le poids de l'unité de volume d'eau.

En substituant ces expressions dans les formules I jusqu'à VIII, nous obtiendrons les valeurs propres correspondantes au cas en question. Ainsi la formule IX :

$$\omega = 0{,}083\,\omega'\left(\frac{V^2}{U''^2} - 1\right)$$

subira des changements, et nommément au lieu de

$$\omega K U''^2 + \omega' U''^2 K' = \omega K V^2,$$

nous aurons :

$$\omega K U''^3 + \omega K_1 \cos\alpha (n-1) U''^3 + \omega_1 K_1 \sin\alpha (n-1) U''^3$$
$$+ \omega' K' U''^3 = \omega' K' V^3, \text{ d'où}$$

$$\omega (K + K_1 \cos\alpha (n-1)) U''^3 = \omega' K' (V^3 - U''^3)$$
$$- \omega' K' \sin\alpha (n-1) U''^3,$$

$$\text{et } \omega = \frac{1}{K + K_1 \cos\alpha (n-1)} \left[\omega' K' \left(\frac{V^3}{U''^3} - 1 \right) \right.$$
$$\left. - \omega_1 K_1 \sin\alpha (n-1) \right].$$

En substituant à K, K_1, K', cos α et sin α leurs valeurs numériques, on arrive à :

$$\omega = \frac{1}{1{,}32 + 0{,}42 (n-1)} \left[0{,}11 \, \omega' \left(\frac{V^3}{U''^3} - 1 \right) \right.$$
$$\left. - \omega \, 0{,}41 \, (n-1) \right] \text{(form. X } a\text{)}$$

Si maintenant l'angle α du plus grand déplacement du système est admis égal à 45°, alors α = 22°,5' et sin α = 0,38, cos α = 0,92, et on aura :

$$P' = np + \left[\omega [1 + (n-1) \, 0{,}92] \right.$$
$$\left. + 0{,}38 \, \omega_1 (n-1) \right] \beta V.$$

De même :

$$A = \beta \left[\omega [1{,}32 + 0{,}55 (n-1)] \right.$$
$$\left. + 0{,}22 \, \omega_1 (n-1) + 0{,}11 \, \omega' \right].$$

Aussi : $\omega = \frac{1}{1,32 + 0,65\,(n - 1)} \left[0,11\,\omega' \left(\frac{V^2}{U''^2} - 1 \right) - 0,228\,\omega_1\,(n - 1) \right]$ (form. X b)

Pour le second cas, quand les corps ont une constitution différente, les formules resteront les mêmes, sauf qu'au lieu de np il faudra placer dans les formules :

$p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots p_n$, et, au lieu de $(n - 1)\,\omega$ et $(n - 1)\,\omega_1$, $- \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \ldots\ldots \omega_{(n-1)}$ et $\omega_{\mathrm{I}} + \omega_{\mathrm{II}} + \omega_{\mathrm{III}} \ldots\ldots \omega_{\mathrm{I}\,n-1}$, attendu que le coefficient K_1 reste le même pour toutes les sections transversales des corps.

Pour ce qui concerne la déformation produite dans un système de corps par le choc du navire, il est clair que tous les raisonnements exposés à ce sujet plus haut seront également admissibles ici. Ainsi si les extrémités du système sont attachées à des points fixes A et B (fig. 5), le choc produit par le navire sera instantané, et, par suite de sa courte durée, ne se transmettra point à tout le système, de sorte que la force vive du navire sera entièrement consommée pour produire l'altération de forme dans le corps immédiatement exposé au choc. Au contraire, si le système dans les points

A et B est libre, cette même force vive du navire sera censée avoir déplacé le système, qui prendra la forme d'après une courbe ACB, et de même produira une certaine déformation du corps exposé au choc; or, comme l'effort de ce dernier dépend des masses recevant le choc, et comme ces masses des corps du système ne pourront participer à cette action que par l'intermédiaire des liens réunissant les corps entre eux, et qui de leur côté ne pourront transmettre l'effet de la percussion que lorsque le premier corps exposé au choc sera préalablement déplacé d'un certain espace, ce qui se répétera successivement avec tous les corps du système. Il est facile à comprendre que la force de percussion du premier moment de la collision, ira en augmentant et n'atteindra son maximum d'effet que peu à peu, de sorte que tout le système participant à l'absorption de la force vive du navire, l'altération de forme du corps exposé au choc sera toujours notablement moindre que dans le cas précédent.

Influence du nombre de navires sur le mouvement d'un système donné.

Dans les calculs ci-dessus, nous avons toujours

supposé qu'un seul navire aborde un système de corps flottants. Evidemment le nombre des navires amènera l'augmentation des effets produits par ces derniers. Ce surcroît d'effet se manifestera essentiellement dans un accroissement des vitesses U' dues à l'inertie seule des navires, et U" produites par les forces motrices placées dans les navires.

Ainsi, en désignant par n le nombre des corps du système et par m le nombre des navires, et admettant que les vitesses dont ils sont animés, de même que leurs poids, sont égaux, nous aurons :

$$U' = \frac{mP}{mP + nP'} \cdot V \text{ et } U'' = 4\sqrt{\frac{mQ}{A}}$$
$$= 4\sqrt{\frac{m\omega\beta K'}{n\omega K + m\omega' K'}}.$$

Nous avons démontré plus haut que U" est toujours plus grand que la valeur moyenne d'U' ou $\frac{U'}{2}$, par conséquent nous n'attirons l'attention que sur la vitesse u''. Or, dans l'expression :

$$U'' = 4\sqrt{\frac{m\omega\beta K'}{n\omega K + m\omega' K'}} \text{ (form. XI)},$$

il est facile de remarquer que, dans le dénominateur, la valeur $m\omega' K'$ sera en réalité toujours

très-petite, en comparaison de $n \omega K$, de sorte qu'avec un degré d'approximation très-suffisant pour l'application dont il s'agit, on peut admettre que la vitesse de déplacement imprimée à un système de corps flottants, abordé par des navires, augmentera en raison des racines cubiques des nombres de navires.

Influence du nombre des pièces de batteries de côte, sur la vitesse de déplacement de l'estacade.

Finalement, nous devons encore observer que toutes les formules des calculs précédents nous permettent de déterminer les dimensions des estacades flottantes, suivant les règles théoriques, en ayant donné pour point de départ la vitesse U' qui, par l'action de la force motrice, doit être censée avoir été imprimée tant au navire qu'à l'estacade. La valeur de cette vitesse, comme les formules font voir, exerce une grande influence sur les dimensions de l'estacade; plus cette vitesse sera petite, plus les surfaces latérales ω des chaînons de l'estacade augmenteront, ce qui amènerait des inconvénients dans l'exécution pratique, et réciproquement. Or donc, pour obtenir une estacade

flottante dans les meilleures conditions, il faut que la vitesse U' soit placée dans de certaines limites. Une estacade flottante a pour but de ralentir la marche des bâtiments qui forcent un passage quelconque, et cela de manière que cette diminution de vitesse des bâtiments, ce surcroît de temps donne aux batteries de côtes la possibilité, en augmentant le nombre des projectiles lancés, de couler ou de mettre hors d'action tout bâtiment; par conséquent la vitesse cherchée U' sera une certaine fonction du temps nécessaire pour lancer des batteries un nombre de projectiles à une certaine portée qui suffirait pour produire sur les bâtiments en question, l'effet désiré ; d'un autre côté, elle sera aussi une fonction de l'espace parcouru par le navire pendant ce même temps dans le champ de tir des batteries de côte.

En effet, admettons, en premier lieu, qu'une estacade flottante, barrant un passage AB d'une largeur égale à $2l$, soit disposée de la manière désignée dans la figure 7, et qu'une pièce des batteries de côte soit placée dans une embrasure dont le champ de tir serait égal à 28. Posons, en second lieu, qu'un bâtiment aborde l'estacade au milieu de sa longueur, alors *bc* sera l'espace par-

couru par le navire et l'estacade dans le champ de tir de la pièce, et la vitesse cherchée $U' = \frac{bc}{F}$, en désignant par F le temps estimé nécessaire à lancer un nombre de projectiles suffisant pour couler le bâtiment abordant. Or, du triangle *abc*, on trouve $bc = 2\,l \text{ tang } 8$, d'un autre côté $F = Nt$, en appelant N le nombre de projectiles à être lancés, ou autrement l'efficacité du tir, et *t* le temps nécessaire pour effectuer chaque coup. De sorte qu'on aura :

$$U' = \frac{2\,l \text{ tang } 8}{N\,t}.$$

Si, au lieu d'une, on plaçait *n* pièces, et si leurs champs de tir était sensiblement le même, le nombre de coups N serait réparti entre *n* pièces, de manière qu'on aurait :

$$U' = \frac{2\,n\,l \text{ tang } 8}{N\,t} \text{ (form. XII).}$$

Ce qui fait voir que, pour un même barrage et un même angle de tir, la vitesse U' augmente avec l'efficacité du tir, qui sera d'autant plus grande que le nombre N de coups sera moindre, de même il est visible que U' augmente avec le nombre de pièces des batteries de côte.

Cette formule, dans son application pratique, subira certains changements qui dépendront des localités.

Résumé.

Toutes les considérations déduites de l'examen théorique des phénomènes qui se manifestent lors de la collision d'un navire avec un système de corps ou avec une estacade flottante disposée perpendiculairement au sens du mouvement du navire, nous mettent à même d'indiquer les règles propres à être adoptées dans la construction des estacades flottantes, nommément :

(A) Une estacade flottante barrant un passage quelconque doit être disposée de manière que ses deux extrémités soient parfaitement libres, tandis que les surfaces résistantes des chaînons de l'estacade doivent être calculées à l'aide des formules X, *a*, *b*, de sorte que la vitesse moyenne de déplacement de l'estacade ne surpasse point la vitesse déterminée par la formule :

$$U' = \frac{2nl \operatorname{tang} 8}{Nt}.$$

(B) Pour la construction des chaînons de l'estacade, nous obtiendrons les règles suivantes :

1° Augmenter autant que possible la surface latérale des chaînons de l'estacade ;

2° Le contact du navire avec l'estacade doit avoir lieu sous une ligne horizontale qui passerait par le centre de gravité de chaque chaînon de l'estacade ;

3° La surface latérale de la proue de chaque chaînon doit être construite de manière à ce que la résultante de la résistence de l'eau passe par le centre de gravité du chaînon ;

4° Les chaînons de l'estacade ne doivent point être fixés à une ancre mouillée dans le lit du passage, et leur résistance ne doit être nullement basée sur la rigidité des chaînes à ancre ;

5° Dans le sens horizontal, chaque chaînon doit céder librement à l'effort produit par un navire abordant.

C'est en nous basant sur ces données que nous avons essayé de projeter une estacade flottante qui répondrait aux exigences théoriques, en ayant toutefois également en vue son exécution pratique. C'est donc un pareil projet que nous présentons ci-dessous à l'attention indulgente du lecteur.

G. de S.

Saint-Pétersbourg, 30 décembre 1862.

DE L'ANALYSE

DES PRODUITS DE LA COMBUSTION

DE LA POUDRE,

Par M. A. VIGNOTTI.

(Suite et fin, voir le numéro de mars, page 494.)

Marche des expériences. — La poudre introduite dans le mortier en cuivre *m*, et celui-ci vissé sous le projectile, on a communiqué le feu à la charge.

Après l'explosion de la poudre, les résidus solides se sont déposés sur le mortier en cuivre, sur les parois de l'obus ; les gaz sont restés en totalité enfermés dans celui-ci.

Nous n'aurons aucune difficulté à mesurer d'abord le volume des gaz avant de faire l'analyse des résidus solides ou gazeux.

A un ballon sphérique ordinaire en verre *b*

(fig. 2), d'un diamètre à peu près égal au diamètre intérieur de l'obus, on a fait adapter une tubulure en cuivre, à robinet *t*. L'obus est percé, sur le côté, d'un trou *o* d'un petit diamètre auquel s'adapte un robinet en cuivre.

Le ballon *b* devant venir se placer sur ce robinet *r*, il est nécessaire, pour que les deux robinets puissent s'assembler par leurs deux parties femelles, de faire tourner une petite pièce additionnelle *v*, portant deux parties filetées dans le prolongement l'une de l'autre.

Premier moyen.—On pourrait, cela posé, opérer de deux manières différentes : 1° remplir d'eau distillée le ballon en verre ; le placer contre l'obus ; ouvrir les deux robinets du ballon et de l'obus, de telle sorte que toute l'eau s'écoule dans l'obus, que tous les gaz passent dans le ballon, ce qui exigerait que e ballon eût été calibré, au préalable, de manière à avoir très-exactement un volume égal au volume de l'intérieur du projectile. Cet échange fait, fermer les deux robinets et séparer le ballon de l'obus rempli d'eau.

On mettrait le ballon en communication avec un

manomètre à mercure ou un manomètre métallique. On prendrait note de la pression des gaz, de la température extérieure, et l'on en déduirait simplement, par l'application des formules de physique, le volume qu'ils occuperaient à zéro, sous la pression normale de $0^m,76$.

Cette détermination faite, il resterait dans le ballon les gaz à analyser; dans l'obus, de l'eau tenant en dissolution la plupart des résidus de la combustion de la poudre, et en suspension le charbon, le soufre, qui peuvent avoir échappé à l'oxydation.

Il n'y aurait plus alors qu'à appliquer les procédés d'analyse chimique qu'on va décrire.

Mais ce mode d'opérer, qui se présente le premier à l'esprit, aurait plusieurs inconvénients. Sans revenir sur l'obligation de donner des volumes exactement égaux au ballon et à l'obus, ce qui regarde au reste le constructeur de l'appareil, et n'est pas d'une bien grande difficulté, on peut craindre que les gaz se filtrant au travers de l'eau qui coule dans l'obus par une tubulure étroite, ne s'y dissolvent en partie; plus leur pression sera grande, en général, et plus on aura à redouter cet effet qui

aurait pour conséquence d'induire en erreur sur le volume total des gaz et sur la nature exacte des résidus solides. De plus, en portant au manomètre le ballon en verre où sont enfermés les gaz, on laisserait inévitablement pénétrer dans le tube manométrique un certain volume de ceux-ci, tandis que de l'oxygène, de l'azote se mélangeraient à eux dans le ballon, et feraient un peu varier la proportion de ces deux gaz existant dans le mélange qu'on a à analyser.

D'un autre côté, on retrouverait dans l'obus, rempli d'eau, des dissolutions très-étendues; et, comme la première chose à faire serait de filtrer ce liquide pour séparer les corps en dissolution de ceux qui ne sont qu'en suspension, on aurait à opérer sur des volumes d'eau trop considérables, surtout après les lavages successifs à l'eau chaude qu'il conviendrait encore de faire dans l'intérieur de l'obus.

Voici comment il convient d'opérer, en abandonnant tout à fait ce premier procédé, dont on ne parle ici que pour bien faire apprécier toute la précision dont ces moyens d'investigation sont susceptibles, et parce qu'on peut prévoir certaines

circonstances dans lesquelles on pourrait avoir à l'appliquer.

Deuxième moyen. — 2° On se sert du même ballon ; seulement il importe peu qu'il ait une capacité exactement égale à celle de l'obus. Il suffit que le rapport des volumes ait été, une fois pour toutes, déterminé avec soin, par la mesure des volumes d'un même liquide que le ballon et l'obus peuvent contenir, ou, plus exactement encore, en prenant le rapport des poids de ces quantités respectives de liquide.

On fait le vide dans le ballon, d'une manière aussi parfaite que le permet la machine pneumatique dont on dispose (1).

On le porte ensuite contre l'obus et on le fixe au moyen de la petite pièce annexe *v*, comme ci-dessus. On ouvre les deux robinets, et les gaz, qui

(1) Au point de vue des applications spéciales de ces instruments au service de l'Artillerie, il faut ajouter que les pompes pneumatiques des appareils Mallet, qui existent dans la plupart des poudreries, peuvent très-bien suffire. Il n'est pas, d'ailleurs, indispensable de faire le vide dans le ballon, quoique cela semble préférable, attendu que si le ballon est rempli d'air, on est moins sûr que cet air et les gaz de l'obus se mélangeront bien intimement.

doivent avoir déposé, en se refroidissant, les matières solides qu'ils pouvaient contenir, se précipitent dans le ballon.

Fermant maintenant les deux robinets, on a, dans l'obus et dans le ballon, des fractions connues du volume total des gaz fournis par la poudre.

On se sert des gaz du projectile pour mesurer la tension des gaz de la poudre, pour reconnaître à quelle quantité de vapeur d'eau ils sont mélangés, pour déterminer enfin le volume total des gaz à 0° et sous la pression de 0^m,76.

On soumet à l'analyse chimique ceux qui sont renfermés dans le ballon et qui n'ont été aucunement altérés.

Mesure du volume des gaz de la poudre. — Nous venons de voir que la combustion de 15 grammes de poudre devra donner, suivant les différents auteurs, soit 2,900^{cc}, soit 3,924^{cc}, soit, *au plus*, 4,965^{cc} de gaz.

Ces gaz, répandus dans l'obus et dans le ballon en verre, occuperont un espace d'au moins 5,050^{cc}, dont la moitié est déjà remplie d'air ; la pression dans l'obus pourra donc être plus grande ou un peu moindre que la pression atmosphérique.

La légère différence de température entre le degré auquel les observateurs précités ont mesuré ces volumes gazeux et la température du laboratoire, ne pourra suffire pour dilater les gaz de façon à ce qu'ils remplissent tout l'espace libre sous une pression plus considérable que la pression extérieure ; car les coefficients de dilatation des gaz, qui sont mélangés ici, sont compris, comme on sait, et d'après les expériences de M. Régnault, entre 0,003666 et 0,003680, d'où il suit qu'il faudrait une élévation de température de près de 300° pour en doubler le volume.

Pour mesurer la force élastique de ces gaz et pour tenir compte de ce qu'elle peut être, suivant les différents cas, un peu au-dessus et un peu au-dessous de la pression atmosphérique, on emploiera un manomètre à air à deux branches (Fig. 3) renfermant du mercure dans deux réservoirs placés à la partie inférieure. A l'une des branches CD est ajustée une tubulure en cuivre sur laquelle peuvent se visser les robinets que portent le projectile ou le ballon en verre. L'autre branche s'élargit vers le haut en forme d'entonnoir, pour recueillir tout le mercure, dans le cas où la tension des gaz serait

assez forte pour le faire accidentellement sortir du tube.

On met l'obus en communication avec le manomètre, en se servant d'un tube flexible en cuivre rouge, sans soudure, fileté à chaque bout, et muni d'un petit cylindre en plomb formant écrou, qu'une pièce en cuivre, taraudée intérieurement, force à venir s'appliquer contre l'extrémité du robinet qu'il s'agit de fermer hermétiquement. On prend ensuite note de la hauteur de la colonne de mercure qui fait équilibre à la tension du gaz.

Corrections à faire à l'observation de la force élastique du gaz. — Il intervient dans cette observation deux causes principales d'erreurs qui devront donner lieu à des corrections dans la mesure de la force élastique des gaz renfermés dans l'obus, toutes les fois, du moins, qu'on voudra opérer avec la plus grande précision possible. L'expérience démontrera quel degré d'importance ces corrections peuvent avoir. Quoique très-probablement on ne doive pas en tenir compte dans la plupart des cas, il convient de les indiquer ici, en vertu de ce principe que : Qui peut le plus peut le moins.

Correction relative à l'air atmosphérique contenu dans le tube du manomètre. — C'est d'abord la pré-

sence d'un peu d'air atmosphérique dans la branche CD du manomètre, ainsi que dans le tuyau en cuivre dont on se servira habituellement, pour plus de facilités, pour réunir l'obus à la tubulure qui termine cette même branche. Ce volume d'air, ayant la pression atmosphérique, contribue à produire une certaine pression sur le mercure; heureusement il n'y a plus à cela, dans les conditions où nous sommes placés, d'autre inconvénient que d'avoir à faire un calcul très-élémentaire d'ailleurs: ce n'est plus sur les gaz que l'obus renferme que l'on compte maintenant pour procéder à l'analyse chimique des produits gazeux de la combustion de la poudre.

L'air n'ayant, à la température ordinaire, aucun effet sur les gaz de la poudre, on peut simplement appliquer en ce cas la loi de Mariotte. La pression totale, observée au manomètre, est la somme des pressions produites par chacun des gaz dans le volume commun. Appelons donc v le volume de l'obus, v' celui du tube manométrique et du tuyau additionnel, s'il y a lieu d'employer celui-ci, volume v' qu'il est facile de mesurer directement au début des expériences; nommons p et p' les pressions correspondantes, cette dernière, p', étant don-

née par le baromètre du laboratoire ; V le volume total occupé par les gaz au moment de l'observation (volume qui différera de $v + v'$ du volume de la partie du tube du manomètre dans laquelle se sera élevé le mercure, et dont on prendra note), et P, enfin, la pression observée.

Dans la relation que nous pouvons établir entre ces quantités,

$$(1) \qquad PV = pv + p'v',$$

tout est connu, excepté p, la force élastique du gaz, dont la valeur serait, par suite,

$$(2) \qquad p = \frac{PV - p'v'}{v}$$

Correction relative à l'air qui est renfermé dans l'obus et dans le ballon au début de l'expérience. — Mais il y avait de l'air dans l'obus au moment de l'inflammation de la poudre ; il en était resté un peu aussi dans le ballon dans lequel nous avons cherché à faire le vide. On en peut tenir compte absolument de la même manière. Soit v_1 le volume du ballon.

L'air renfermé primitivement dans l'obus, occupant le volume v et ayant la pression p', s'est ré-

parti entre l'obus et le ballon : son volume est devenu $v + v_{,}$ et la pression, par suite, $p' \frac{v}{v + v_{,}}$

Il en reste actuellement dans l'obus un volume v, sous cette pression $p' \frac{v}{v + v_{,}}$

De même quand on a fait le vide dans le ballon, on y a laissé une certaine quantité d'air dont la pression p'' est donnée par la différence entre les deux colonnes de mercure de l'éprouvette de la machine pneumatique employée.

Cet air n'a plus de même que la pression $p'' \frac{v}{v + v_{,}}$

Nous n'avons donc que deux nouveaux termes à ajouter ainsi au second membre de l'équation (1) ci-dessus, qui devient alors

$$PV = pv + p'v' + p'v \frac{v}{v + v_{,}} + p''v \frac{v}{v + v_{,}}$$

et qui donne pour nouvelle valeur de la pression des gaz, entièrement corrigée, que nous nommerons $p_{,}$,

$$(3) \qquad p_{1} = \frac{PV - p'v'}{v} - (p' + p'') \frac{v}{v + v_{,}}.$$

Il est vrai que nous admettons implicitement ainsi que l'air que l'obus renferme avant la défla-

gration de la poudre s'y trouve encore en totalité après la combustion de celle-ci. Or d'après ce que nous avons déjà dit à ce sujet, on serait porté à croire que l'explosion de cette poudre n'a pu avoir lieu que par l'intervention d'une partie d'oxygène atmosphérique : mais il est très-probable, d'un autre côté, que dès que la décomposition du salpêtre commence, c'est l'oxygène *naissant* que ce corps fournit qui entre en combinaison avec le charbon et le soufre, préférablement à l'oxygène de l'air (1).

(1) Rien ne prouve encore, il faut le dire, que l'oxygène atmosphérique entre chimiquement en jeu dans la combustion de la poudre.

Les réactions chimiques ne s'exercent, on le sait, qu'au contact des molécules des différents corps sur lesquels on opère.

Lorsque nous soumettons, dans un espace privé d'air, une certaine quantité de poudre à l'action d'un courant électrique susceptible de rougir un fil de platine, et que nous produisons ainsi la décomposition de la poudre, il faut bien remarquer que, par une action purement physique, les gaz qui se forment, tendent à se dilater considérablement, à ne pas rester au contact des corps qu'ils devraient brûler ; et que de plus la dilatation rapide de ces gaz doit produire un abaissement très-notable de leur température.

Cela suffirait peut-être pour expliquer pourquoi la poudre brûle en se décomposant lentement dans le vide, au lieu de détonner, comme elle le fait dans l'air.

Nous dirons bientôt comment le nouvel appareil permettra de vérifier si cet oxygène reste en effet inerte, en grande partie, et après les premiers instants de la combustion, comme il semble permis de l'admettre.

En attendant que nos conjectures à cet égard soient confirmées, on conviendra du moins que l'hypothèse que nous faisons ici ne peut conduire à des résultats entachés d'erreurs considérables, d'autant plus qu'il s'agit, il ne faut pas l'oublier, de *comparer* seulement les volumes gazeux dégagés, et non d'en donner la valeur exacte.

La correction relative à l'air qui reste dans le ballon aura d'autant moins d'importance que la machine pneumatique employée fera le vide d'une manière plus parfaite : avec la pompe des appareils Mallet, elle ne serait pas négligeable, puisqu'elle pourrait s'élever à la moitié (1) de 9^{mm}, soit à 4 ou 5^{mm} de mercure. Ces appareils, au reste, sont munis, comme les machines pneumatiques, d'une éprouvette dont on n'aura besoin que de noter les indications pendant les expériences successives.

(1) En admettant que l'obus et l ballon aient des capacités égales.

Dosage de la quantité de vapeur d'eau formée dans la combustion de la poudre. — Voici une autre correction qu'il ne faudra pas toujours négliger.

L'influence de la présence de l'eau sur les effets de la poudre a été très-diversement appréciée par les savants.

Gay-Lussac (1) a cherché à prouver que la vaporisation de l'eau « ne pouvait ajouter à la force de « la poudre, parce qu'elle absorbait plus de calo- « rique qu'il n'en faudrait aux gaz permanents en- « gendrés dans l'explosion pour développer une « plus grande tension. »

M. le général Piobert (2) lui-même n'ose se prononcer à ce sujet, et dit, à la fin du paragraphe relatif à *l'influence de la présence de l'eau sur la tension des gaz de la poudre*, que, dans le cas où la quantité d'eau que contient la poudre serait suffisante pour produire le maximum de tension de la vapeur, que si cette eau n'était pas décomposée par le charbon à ces hautes températures, « il serait « possible que la présence de la vapeur d'eau pût « ajouter à la force de la poudre. »

(1) Rapport au Comité des poudres et salpêtres, janvier 1823.

(2) Piobert, ouvrage déjà cité, page 316.

C'est donc là encore une question *sub judice.*

Peut-être l'application des nouveaux procédés pourra-t-elle jeter un peu de lumière sur cette question-là, comme sur bien d'autres, un peu plus tard. Il n'y aura pour cela, en effet, qu'à faire brûler dans l'appareil, avec les précautions convenables, des poudres bien desséchées, comparativement avec ces mêmes poudres renfermant des quantités variables et bien déterminées d'eau hygrométrique.

Contentons-nous, en attendant, de constater expérimentalement quelle quantité de vapeur d'eau fournit la combustion de la poudre dont on fait l'essai, sauf à rechercher ensuite dans quel sens la formation et la présence de cette vapeur font varier la tension des gaz.

Il y a, à cet égard, une lacune regrettable dans les expériences de MM. Bunsen et Schischkoff; et l'on a de la peine à comprendre comment ces Messieurs, qui ne semblent s'être préoccupés ni de l'eau formée, ni de l'eau décomposée, ont pu arriver, par leurs analyses, à des résultats si concordants qu'il semblerait, en vérité, qu'il n'y manque rien. Pour nous, si nous nous tenons toujours dans le même ordre d'idées, nous attacherons à la détermination de la quantité d'eau formée par la com-

bustion de la poudre, un intérêt d'autant plus grand, qu'il semble évident que le volume de la vapeur d'eau est aussi fonction du mode d'action de la poudre, de la vivacité de la combustion et de la température qui se produit, en sens qu'il doit arriver que l'eau hygrométrique ou que l'eau formée avec l'oxygène et l'hydrogène qui sont en présence, se décomposent l'une ou l'autre, toutes les deux peut-être, en présence de corps oxydables, si la température est assez élevée; tandis que, dans le cas où les poudres seraient moins vives, et la chaleur moins forte, cette même eau ne céderait qu'une partie de son oxygène, ou peut-être même n'en céderait pas du tout.

On sait, d'après les expériences de Dalton et de Gay-Lussac, que la force élastique d'un mélange de gaz et de vapeur est égale à la force élastique du gaz, plus celle de la vapeur qui se développerait dans le vide à la même température; et que la quantité de vapeurs qui se forme dans un gaz est égale à celle qui se formerait dans un même espace vide, à la même température.

Il en résulte directement que si nous voulions calculer les volumes des gaz de la poudre d'après la valeur de la pression observée et corrigée, p_t des

gaz dans l'obus, nous commettrions une erreur, puisque cette pression p_1 n'est pas seulement le fait de la tension des divers gaz, mais aussi de la force élastique de la vapeur d'eau.

Voyons comment il faudra faire cette nouvelle correction.

Après avoir mesuré, au moyen du manomètre à air, la valeur de la pression P, d'où nous avons conclu p_1, on aura eu soin de refermer le robinet de l'obus ; on aura séparé celui-ci du manomètre.

On adaptera à la tubulure latérale de l'obus un tube en verre portant à ses deux extrémités des bouts en cuivre, filetés à l'ordinaire ; ce tube sera rempli aussi complètement que possible de fragments de chlorure de calcium fondu, de manière à ce qu'il n'existe dans le tube que très-peu de vide.

A ce tube on fixera un ballon en verre muni d'un robinet, dans lequel on aura fait préalablement le vide, en observant et en notant avec précaution la différence des colonnes de mercure de l'éprouvette.

La réunion opérée, on ouvrira, mais non pas complètement, le robinet du ballon et celui de l'obus. Les gaz circuleront lentement ainsi sur le chlo-

rure de calcium auquel ils abandonneront leur humidité.

Admettons que le ballon ait la capacité de l'obus lui-même : nous devrons trouver dans son intérieur la moitié seulement des gaz contenus auparavant dans l'obus, le quart des gaz que la poudre a fournis ; cette fois ces gaz seront secs et débarrassés de la vapeur d'eau.

En portant le ballon au manomètre, nous observerons une nouvelle valeur P_1 de la force élastique, valeur qui devra subir les mêmes corrections que ci-dessus, être diminuée de la moitié de l'indication fournie par l'éprouvette de la machine pneumatique, si l'on a fait le vide dans le ballon, et qui fera connaître ainsi la force élastique p_2 des gaz.

Mais, d'après la loi de Mariotte, que nous pouvons encore appliquer ici, comme nous n'avons plus dans le ballon, sous le même volume, que la moitié des gaz que renfermait l'obus, la nouvelle pression p_2 devrait être seulement la moitié de la pression p_1 précédemment mesurée. La présence de la vapeur d'eau est la raison pour laquelle on trouvera une différence entre p_1 et $2p_2$: cette différence $p_1 - 2p_2 = p'''$, sera donc la force élastique de la vapeur d'eau répandue dans l'appareil lors de la pre-

mière détermination de P, d'où l'on a déduit la valeur de p_1.

Rien de plus aisé que de calculer d'après cette valeur de p'' le poids K de la vapeur contenue dans le volume v, par la formule

$$K = \frac{p''v}{1,2772\,(1 + 0,00368\,t)},$$

dans laquelle le mètre et le kilogramme sont pris pour unités ; t est la température de la vapeur, qui sera donnée ici par le thermomètre exposé dans l'enceinte du laboratoire.

Cette formule est basée sur le poids du mètre cube de vapeur à 100°, trouvé par M. Gay-Lussac égal à $0^k,5913$, et sur la combinaison des lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

Autre moyen d'obtenir le poids de la vapeur d'eau. — On peut obtenir du reste la valeur de ce poids K d'une autre manière encore, avec une plus grande approximation peut-être, à cause du peu de sensibilité relative du manomètre à mercure.

Le ballon en verre deviendra inutile ; on appliquera par l'intermédiaire du tuyau en cuivre rouge embouti, et au bout du tube de chlorure de calcium, la machine ou la pompe pneumatique, puis on fera

jouer celle-ci. On aspirera aussi complètement que possible les gaz de l'obus, en les obligeant à passer sur le chlorure de calcium où ils laisseront leur eau. L'augmentation de poids du tube après cette opération bien simple, donnera le poids de la vapeur d'eau que l'obus renfermait et qui a été produite par la combustion de la poudre.

Il y aurait même moyen de tenir compte aussi du poids de la vapeur qui est restée dans l'obus avec l'air atmosphérique que la machine pneumatique n'a pu en extraire, quand on a fait le vide, tout au début de l'expérience, avant d'enflammer la poudre. Il suffirait de faire une observation préalable avec l'hygromètre de M. Régnault, pour déterminer l'état hygrométrique de l'air du laboratoire : mais on ne jugera pas sans doute qu'il soit nécessaire de pousser si loin la rigueur.

Volume réel des gaz de la poudre. — Toutes ces diverses corrections une fois faites, et l'on verra de quelle importance elles sont en réalité en comparant les valeurs qu'on aura trouvées pour p, pour p_1, par les formules (2), (3), et enfin pour $2p_2$, à la fin des opérations, il restera à réduire le volume v à 0° et à la pression de $0^m,76$, de manière à obtenir des résultats toujours comparables. Il ne faut pas

perdre de vue, d'ailleurs, que nous n'avons dans le volume v qu'une fraction de nos gaz.

Le volume total V_0 des gaz dégagés par la combustion de la poudre, et privés d'humidité, sera donné par la formule suivante qui n'est toujours qu'une application des mêmes lois physiques :

$$V_0 = (v + v_{,})\frac{2p_{,}}{0^{m},76}\frac{1}{1+\alpha t} \qquad (a)$$

Tout est connu dans la valeur de V_0, sauf la température actuelle t des gaz de la poudre qu'on n'aura pas à observer directement si l'on a suivi le conseil qu'on a donné d'attendre que ces gaz se soient mis en équilibre de température avec l'air du laboratoire, car alors on n'aura qu'à lire t sur le thermomètre qui y est habituellement placé. Quant à α, coefficient de dilatation des gaz, on en connaît, d'après M. Régnault, les valeurs extrêmes de 0,003666 et 0,003689.

Analyse des gaz de la poudre. — Ces premières données recueillies, il faut entreprendre l'analyse chimique des gaz et des résidus solides.

D'après ce qui a été dit précédemment, nous devons nous attendre à trouver mélangés dans le ballon en verre que nous avons mis en réserve, de

l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, de l'azote et un peu de protoxyde d'azote, de l'acide sulfhydrique, des carbures d'hydrogène, de l'hydrogène et enfin un peu d'oxygène, ne fût-ce que l'oxygène atmosphérique provenant de l'intérieur de l'appareil ; car, disons-le, si MM. Bunsen et Schischkoff ont signalé la présence d'oxygène libre dans les gaz qu'ils ont soumis à l'analyse, il paraît bien probable que ce n'est pas de l'oxygène provenant de la décomposition du salpêtre, et non combiné à cause de l'abaissement de la température, mais bien plutôt de l'oxygène atmosphérique amené par le courant d'air que provoque leur aspirateur, oxygène qui, n'étant pas à l'état naissant, a des affinités bien moins énergiques et entre moins aisément en combinaison avec les corps oxydables de la poudre.

Faire une analyse complète et exacte de ce mélange gazeux, entraînerait bien des difficultés sans doute, exigerait un laboratoire parfaitement meublé et installé, et en outre une habitude toute particulière des manipulations. Mais, en poursuivant toujours la même idée, il nous importe assez peu d'apporter cette rigueur dans la détermination des divers éléments de ce mélange. Il ne faut pas l'oublier, nous cherchons seulement à reconnaître si

le soufre, le charbon, se sont *plus* ou *moins* oxydés pendant la combustion de la poudre ; et encore ces utiles renseignements ne doivent-ils pas nous être donnés par l'analyse seule des gaz de la poudre, car nous comptons, pour les compléter, sur les indications que fournira la nature des résidus solides.

Il semble donc que, sans compromettre en rien la confiance que mériteront les résultats, nous pourrons nous borner à déterminer, par exemple, la quantité d'acide carbonique contenue dans les gaz. Nous savons déjà qu'il y aura d'autant plus d'azote qu'il y aura plus d'acide carbonique, ce qui laissera peu de vague sur la proportion, toujours relativement faible, des autres gaz mêlés à ces deux-là.

Dosage de l'acide carbonique. — Le dosage de l'acide carbonique, dans les conditions où nous sommes, est des plus simples, puisqu'il suffit de faire absorber ce gaz par une dissolution de potasse.

On a un petit ballon terminé par un robinet en cuivre, qu'on remplit entièrement de la dissolution de potasse qu'il n'est, au reste, pas nécessaire de titrer.

On réunit ce petit ballon à celui où sont renfer-

més les gaz ; on ouvre les deux robinets, et l'on agite jusqu'à ce qu'on puisse supposer que la potasse s'est emparée de la totalité de l'acide carbonique.

On la fait repasser alors dans le petit ballon où elle était d'abord contenue, et l'on sépare celui-ci du grand ballon ; le mélange gazeux est ainsi de plus en plus raréfié.

En portant ce dernier ballon au manomètre, on devra constater une diminution de pression d'autant plus forte qu'il y avait d'abord une plus grande quantité d'acide carbonique. Après avoir fait toutes les corrections relatives à cette nouvelle valeur de la pression, on trouvera le volume total V_0' que les gaz restés dans le ballon occuperont à 0° sous la pression de $0^m,76$; et $V_0 - V_0'$ représentera le volume d'acide carbonique que la potasse a enlevé.

On pourra, à volonté, tenir compte ou ne pas tenir compte de la vapeur d'eau répandue dans le ballon avec les gaz. Dans le dernier cas, il faudrait calculer le volume total des gaz, V_0, sans faire non plus de correction relativement à l'eau contenue dans l'obus. La correction se fait tout naturellement par la soustraction.

Autre procédé. — Il y a un autre moyen bien

simple de déterminer le volume et le poids de l'acide carbonique; et l'on pourra l'employer concurremment à celui-ci comme vérification, ou bien dans toutes les circonstances où il semblera plus commode ou plus facile de l'appliquer.

On aura pris d'abord le poids tare du ballon avant l'expérience, mais après y avoir fait le vide : soit *m* ce poids.

On pesera de nouveau le ballon rempli par les gaz, et avant d'y introduire la potasse, ce qui donnera un poids *n*, et $n - m$ pour les gaz seuls ; on fera une nouvelle pesée, enfin, après l'absorption de l'acide carbonique, et quand il n'y aura plus de liquide adhérent aux parois intérieures.

Ce dernier poids *s* étant obtenu, il est clair que $(n - m) - (s - m)$ ou $n - s$, représentera le poids de l'acide carbonique seul.

Il faut remarquer, en passant, qu'il ne sera pas nécessaire de prendre le poids tare du ballon si l'on se borne à chercher l'acide carbonique et si l'on ne désire pas connaître le poids total des gaz enfermés dans le ballon, $n - m$. Ce poids sera néanmoins une donnée intéressante à recueillir, puisqu'il ne doit surtout en coûter qu'une pesée de plus à faire.

Dosage de l'acide sulfhydrique. — Mais la potasse

n'a pas enlevé seulement de l'acide carbonique au mélange gazeux. Dans le cas où celui-ci contiendrait de l'acide sulfhydrique, et nous savons qu'il peut y en avoir un peu, ce gaz aurait aussi été absorbé.

Comme la quantité plus ou moins grande d'acide sulfhydrique dépend de l'état hygrométrique de la poudre, de la nature du charbon employé, il devra être très-intéressant d'en trouver, dans certains cas, le dosage exact. D'autres fois, au contraire, le plus souvent peut-être, on jugera que la proportion de ce gaz ne s'élevant qu'à 0,59 à 0,60 °/. dans les analyses connues, on peut la laisser confondue avec l'acide carbonique, tant qu'il ne s'agira du moins que de recherches comparatives. Quoi qu'il en soit, il est bon de se réserver la faculté d'estimer très-exactement la quantité d'acide sulfhydrique qui a pris naissance dans ces réactions, et qui se trouve maintenant en totalité dans la dissolution de potasse contenue dans notre petite fiole.

Il suffira de faire ici une application du principe sur lequel est basé l'emploi du sulfhydromètre de Dupasquier, proposé en 1840 par cet habile chimiste, pour juger de la richesse des eaux sulfureuses naturelles ou artificielles.

On mélangera, dans un verre à pied, un peu d'amidon à la dissolution de potasse.

On aura préparé d'avance une teinture alcoolique d'iode titrée, en dissolvant un poids connu d'iode dans un volume déterminé d'alcool, de manière à bien connaître ce que contient d'iode un volume donné de la dissolution alcoolique.

On versera goutte à goutte, au moyen d'une burette graduée, la dissolution d'iode dans la liqueur.

On ne verra pas l'amidon bleuir tout d'abord, parce que l'iode réagira préférablement sur l'acide sulfhydrique, pour lui enlever son hydrogène; au moment où la coloration en bleu de l'amidon se manifestera, tout l'acide sulfhydrique aura dû être décomposé par l'iode. Il est clair qu'il aura fallu employer, pour le détruire ainsi, d'autant plus d'iode qu'il y avait plus d'acide sulfhydrique dans la liqueur.

Un calcul bien élémentaire donne le poids du soufre qui entre dans la composition de l'acide sulfhydrique d'après le poids de l'iode consommé, et par la connaissance qu'on a des équivalents chimiques de ces corps.

Dosage de l'azote. — Après avoir déterminé la quantité d'acide sulfhydrique que les gaz de la

poudre renfermaient, après en avoir déterminé l'acide carbonique, il y aurait à soumettre ces gaz à l'analyse eudiométrique. Ces procédés sont décrits dans tous les traités de chimie ; on trouvera même dans la publication de MM. Bunsen et Schischkoff, dont il a plusieurs fois été question, un exemple détaillé de leur mise en pratique qui pourra servir de guide. Nous nous dispenserons d'autant plus volontiers de les reproduire ici, qu'il n'est pas nécessaire d'en venir là, d'une manière générale.

Mais avant d'abandonner les gaz enfermés dans notre ballon, il est un dernier renseignement qu'on peut leur demander. Y a-t-il ou n'y a-t-il pas de l'oxygène libre dans le mélange gazeux?

Il sera intéressant de pouvoir répondre à cette question ; car, ainsi qu'on l'a dit plus haut, la présence d'une quantité plus ou moins grande d'oxygène libre dans les gaz peut dépendre, peut-être, de la vivacité variable avec laquelle aura eu lieu la déflagration de la poudre.

On n'aura qu'à recommencer dans le même ordre, la petite série de manipulations qui ont servi à doser l'acide carbonique, en employant un nouveau ballon à tubulure en cuivre et à robinet, dans

lequel on mettra, au lieu de potasse, une dissolution de pyrogallate de potasse (1).

La méthode des pesées, sur laquelle nous ne reviendrons pas, semble devoir être préférée ; seulement elle exige qu'on ait à sa disposition une balance de précision d'assez belles dimensions, tandis que le trébuchet qui existe nécessairement dans tous les laboratoires de chimie, peut suffire pour toutes les analyses des résidus solides dont il reste à parler maintenant.

Analyse des résidus solides de la combustion de la poudre. — Comme l'analyse chimique des résidus solides de la combustion de la poudre n'est pas, tant s'en faut, une opération nouvelle, et qu'à cet égard nous n'aurons que peu de choses à changer aux procédés qui sont appliqués partout, nous passerons rapidement sur ce sujet, nous bornant à insister sur quelques précautions qu'il faut prendre, et à en dire assez long, enfin, pour montrer que cette analyse est des plus simples et peut être exécutée par tout le monde.

On lavera soigneusement d'abord l'intérieur de l'obus à l'eau chaude, et on recueillera les eaux de

(1) Ce procédé est indiqué par MM. Bunsen et Schischkoff.

lavage. On dévissera le mortier en bronze ..., ainsi que le robinet placé sur le côté de l'obus ; on lavera ces diverses pièces, on les frottera au besoin avec une brosse douce pour en détacher le soufre et le charbon. On devra faire sécher l'obus le plus complètement possible avant de s'en servir de nouveau.

On aura versé sur un double filtre toutes les eaux de lavage pour en séparer les corps solides en suspension ; on séchera les filtres et on les pèsera, en se servant du filtre extérieur comme tare de l'autre.

Le poids obtenu sera la somme des poids de soufre et de charbon qui n'auront pas été brûlés.

En traitant ce mélange par le sulfure de carbone étendu d'éther on dissoudra le soufre, tandis que le charbon restera seul sur le filtre.

On a proposé, dans ces derniers temps, d'employer le sulfite de soude comme dissolvant du soufre, ce corps transformant alors le sulfite en hyposulfite de soude.

Quelques expériences personnelles font craindre que la présence de la soude ne provoque peut-être la transformation d'une partie du charbon en acide ulmique.

Au reste, il serait plus exact d'oxyder le soufre

au maximum, pour le doser ensuite à l'état de sulfate de baryte, comme on a l'habitude de le faire.

Quant à la détermination des divers composés qui sont tenus en dissolution dans l'eau, nous répéterons ce qui a été dit tout à l'heure à propos de l'analyse du mélange des gaz.

Notre but n'est pas de décrire une méthode rigoureuse d'analyse des produits de la combustion de la poudre.

Il serait utile, sans doute, de faire de temps en temps cette analyse complète et exacte ; ce serait le moyen le plus sûr de constater que rien ne varie dans la fabrication, qu'il n'y a aucune altération dans la qualité des composants employés. Mais pour arriver à la solution de la question particulière qui nous occupe, on peut abréger et simplifier tout à la fois les expériences de la manière suivante.

On a vu que le soufre pouvait exister, à trois états différents, dans les résidus : à l'état d'acide sulfurique, formant du sulfate de potasse ; à l'état d'acide hyposulfureux, donnant de l'hyposulfite de potasse ; combiné avec le potassium, pour faire du sulfure de potassium.

C'est donc la manière dont le soufre s'est réparti

entre ces trois composés, sulfate de potasse, hyposulfite de potasse et sulfure de potassium, qu'il nous importe surtout de rechercher, pour en conclure, d'après la proportion plus ou moins grande de tels ou tels de ces corps, si l'oxydation a été plus ou moins énergique.

Nous connaissons déjà, par l'analyse des gaz, la quantité de soufre qui est passée à l'état d'acide sulfhydrique, et nous venons de déterminer ce qu'il en reste à l'état libre dans les résidus solides; de sorte qu'en faisant la somme de toutes les petites quantités de soufre successivement trouvées, nous pourrons savoir, très-approximativement, ce que tout notre soufre est devenu. Si cette somme diffère du poids total du soufre contenu dans nos 20 grammes de poudre, ce ne pourra être que de bien peu de chose; c'est qu'il se sera formé peut-être un peu de sulfocyanure de potassium, etc...; ce sera aussi la mesure de la précision avec laquelle l'opération aura été conduite, et de l'importance des petites pertes inévitables dans de semblables analyses.

Quant au charbon, ce ne pourra être qu'à l'état de carbonate de potasse que nous le retrouverons dans les résidus solides. S'il s'est formé un peu

de carbonate d'ammoniaque, nous n'en tiendrons pas compte ici, pour ne pas compliquer les opérations ; ce ne sera pas là, du reste, une cause sérieuse d'erreur dans des expériences purement comparatives.

Un intérêt assez grand, toutefois, se rattacherait à la connaissance de la proportion du carbonate d'ammoniaque, par cette raison que l'ammoniaque n'a pu se former qu'aux dépens de l'hydrogène de l'eau hygrométrique ou de celui qui était contenu dans le charbon ; et que, par conséquent, la quantité plus ou moins grande de carbonate d'ammoniaque, pour des poudres bien séchées au préalable, donnerait de curieux renseignements sans nul doute sur l'influence de la nature du charbon ; et pour des échantillons de même poudre, à différents états d'humidité, pourrait permettre d'apprécier les effets de l'humidité des poudres.

Une circonstance qu'il ne faut pas passer sous silence tendrait à rendre cette étude plus instructive encore : c'est que le carbonate d'ammoniaque se volatilise complètement à la température où sont formés les gaz de la poudre, et que par suite c'est dans la fumée qu'il existe en totalité.

Tout cela devrait faire l'objet de recherches spéciales.

En général, du poids de l'acide carbonique allié à la potasse, du poids de cet acide dont nous aurons préalablement constaté l'existence dans le mélange gazeux, déjà analysé, nous déduirons le poids du carbone des 20 grammes de poudre qui sera passé à l'état d'acide carbonique ; et, par différence, nous saurons, d'une manière approchée, combien il s'est formé d'oxyde de carbone.

Nous aurons réuni de cette manière autant de renseignements qu'il peut être désirable d'en avoir sur les effets et, par suite, sur les propriétés des poudres.

Dans quelques autres circonstances spéciales seulement, il y aura lieu de pousser plus loin les investigations.

Dosage du sulfure de potassium. — C'est le sulfure de potassium qu'il faut rechercher le premier dans les eaux de lavage dont nous avons séparé par filtration le soufre et le charbon.

Pour cela, la méthode générale qu'on emploie toujours, consiste à oxyder le soufre, au maximum, par l'acide azotique, et à le doser ensuite à l'état d'acide sulfurique, après l'avoir allié à la baryte;

l'insolubilité et le poids considérable du sulfate de baryte donnent aux résultats des analyses une très-grande garantie d'exactitude.

Mais, pour que l'oxydation se porte sur le soufre seul, il faut changer d'abord le sulfure de potassium soluble en un sulfure insoluble; et, pour cela, on fait digérer la dissolution contenant le sulfure de potassium avec de l'oxyde de cuivre calciné. Quand la liqueur est devenue complètement incolore, on la filtre, et on recueille sur le filtre du sulfure de cuivre et de l'oxyde de cuivre en excès.

On traite par l'acide azotique fumant, et on transforme ainsi le soufre en acide sulfurique qui reste dans la liqueur à l'état de sulfate de cuivre. En versant dans cette dernière de l'azotate de baryte, on précipite le sulfate de baryte qui, lavé, séché, pesé, donne le poids du soufre entré en combinaison avec l'oxygène dans l'acide sulfurique; ce soufre est précisément celui du sulfure de potassium, et l'on peut en déduire quelle quantité de ce sulfure renfermait la liqueur analysée.

Dosage du sulfate de potasse. — L'oxyde de cuivre que nous avons fait digérer avec les eaux de lavage de l'obus, n'a pas d'action sur les autres corps qui y sont en dissolution; et lorsque cet oxyde en aura

été séparé de nouveau par filtration, comme on vient de l'indiquer, il ne restera pas de traces de son passage.

Il faudra mesurer le volume total de la liqueur filtrée sur laquelle doit maintenant porter l'analyse, en la versant dans une éprouvette graduée. On en prendra ensuite des volumes connus pour rechercher le sulfate, l'hyposulfite et le carbonate de potasse.

Le sulfate de potasse d'abord sera obtenu par la précipitation de l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte, comme à l'ordinaire, et se déduira du poids de ce sulfate recueilli sur un filtre.

On le multipliera, bien entendu, pour en connaître la proportion totale, par le rapport des volumes de la liqueur filtrée et de la liqueur traitée par le nitrate de baryte.

Dosage de l'hyposulfite de potasse. — Pour doser l'hyposulfite de potasse dans une nouvelle quantité de la liqueur à essayer, nous nous servirons de la teinture d'iode titrée, de la même manière que ci-dessus, quand il s'est agi de mesurer la quantité d'acide sulfhydrique contenue dans les gaz de la poudre.

L'iode, ajouté à l'hyposulfite de potasse, décom-

pose une partie de la potasse pour former de l'iodure de potassium ; l'oxygène de cette potasse engendre, en se combinant avec le soufre, un acide plus oxygéné que l'acide hyposulfureux, acide que la potasse retient. On écrit de cette façon la réaction qui a lieu en ce cas :

$$2(S^2O^2,KO) + I = IK + S^4O^5,KO.$$

Le sel S^4O^5,KO se produira toujours avant que l'iode ne puisse réagir sur l'amidon qu'on aura ajouté à la liqueur, et dont la coloration en bleu n'apparaîtra, comme cela a été expliqué, que lorsqu'il n'y aura plus d'hyposulfite à décomposer.

La quantité d'iode ajoutée, qu'on connaîtra très-exactement d'après le nombre de divisions de la burette graduée contenant la teinture titrée d'iode qui auront été employées, permettra de calculer la quantité d'hyposulfite attaqué avant l'amidon, puisque ces deux quantités sont forcément dans le rapport des équivalents chimiques des deux corps I et $2(S^2O^2,KO)$, entre lesquels a lieu la réaction (1).

(1) Quoique nous ne puissions pas entrer ici dans les détails des analyses, il semble utile de rappeler une précaution qu'il est essentiel de prendre. Avant de verser la teinture d'iode dans la liqueur, il faut s'assurer, en y plongeant un

Dosage du carbonate de potasse. — Une dernière quantité bien déterminée de la liqueur d'essai, pourra être enfin traitée de la façon suivante, pour déterminer combien de bicarbonate de potasse elle renferme.

Il faudrait, pour suivre les indications de MM. Bunsen et Schischkoff, et par analogie avec ce qui a été fait pour le sulfure de potassium, transformer d'abord le carbonate de potasse en un carbonate insoluble. On verserait pour cela dans la liqueur du chlorure de manganèse qui donnerait lieu, par double décomposition, à la formation de chlorure de potassium, très-soluble, et de carbonate de manganèse insoluble (1).

papier-tournesol rouge, que celle-ci ne contient pas de potasse en excès, qu'elle n'est pas alcaline, qu'elle ne bleuit pas le papier-tournesol. Il est clair, en effet, que s'il y avait de la potasse libre, ce serait à celle-là que l'iode s'adresserait tout d'abord, avant d'attaquer l'hyposulfite, ce qui en entraînerait une plus grande consommation et induirait en erreur sur la proportion de cet hyposulfite.

Si la liqueur est alcaline, il faudra la neutraliser, et même, pour plus de sûreté, lui donner une réaction légèrement acide, en y versant quelques gouttes d'un acide faible, d'acide acétique, par exemple, avant de se servir de la teinture d'iode.

(1) Pour que le chlorure de manganèse ne renferme pas

Le précipité de manganèse serait reçu sur un filtre, lavé et traité par l'acide sulfurique étendu, avec lequel on le ferait bouillir assez longtemps dans un appareil dit à *déplacement*. L'acide carbonique serait chassé de la combinaison avec le manganèse par l'acide sulfurique, et la perte de poids de l'appareil indiquerait quel poids de cet acide carbonique il existait dans la liqueur primitive à l'état de carbonate de potasse.

Autre procédé pour doser le carbonate de potasse. — Il semble bien plus simple et suffisamment exact, de colorer légèrement en bleu, en y versant un peu de teinture de tournesol, la dissolution de carbonate de potasse à analyser; de l'étendre, et de la neutraliser ensuite, en y ajoutant quelques gouttes d'acide acétique, au besoin, et s'arrêtant dès qu'on voit cette teinture de tournesol commencer à prendre la couleur rouge vineux, qui indique que toute la potasse libre est saturée d'acide, et que c'est au carbonate que l'acide s'attaquerait désormais.

On verse alors de l'eau de chaux bien claire en excès; on précipite du carbonate de chaux inso-

d'acide chlohydrique et ne puisse pas décomposer, par suite, en partie le carbonate de potasse, on prend la précaution de le faire fondre avant de le dissoudre dans l'eau.

luble qu'on réunit sur un filtre, qu'on sèche avec précautions, et dont la composition connue indique quelle quantité d'acide carbonique s'est combinée à la potasse dans la combustion de la poudre. Ce procédé, qui a été employé habituellement dans les expériences dont on rendra compte tout à l'heure, a toujours parfaitement réussi.

Ainsi qu'on l'a dit, le poids de cet acide carbonique ajouté à celui de l'acide carbonique gazeux, permettra de calculer assez approximativement, par différence, ce qu'il est passé de carbone à l'état d'oxyde de carbone.

Ajoutons qu'après avoir fait un certain nombre de ces analyses et avoir reconnu que tous les résultats sont concordants, si l'on trouvait que, comme c'est probable, l'oxydation du soufre marche dans le même sens que celle du salpêtre; qu'il y a toujours d'autant plus d'acide carbonique qu'il y a plus d'acide sulfurique, d'autant plus d'oxyde de carbone qu'il y a plus de sulfure de potassium, d'autant plus d'acide carbonique dans les gaz qu'il y a plus de carbonate de potasse dans les résidus solides, etc., on en viendrait probablement à penser qu'il n'est pas nécessaire de déterminer, comme on vient de l'indiquer, les proportions de l'acide

carbonique séparément dans les gaz et dans les produits en dissolution dans l'eau, celles du sulfure de potassium, de l'hyposulfite, du sulfate de potasse...., et à se contenter de chercher seulement, pour chaque poudre essayée, les poids de tels ou tels de ces composés, au nombre de deux ou trois seulement.

De plus, on peut espérer que, par la pratique, ces procédés déjà bien simples, on en conviendra, et bien à la portée de tout le monde, subiraient inévitablement de nouvelles simplifications.

Comparaison de la qualité de chaleur développée par la combustion de poudres différentes. — Il faut attacher, pensons-nous, la plus haute importance à la mesure de la chaleur développée dans la combustion de la poudre. On a cité, à cet égard, l'opinion si considérable et si nettement exprimée de M. Sainte-Claire Deville. Il serait presque déplacé d'ajouter un seul mot sur ce sujet.

S'il existait un moyen commode et pratique de mesurer assez exactement cette quantité de chaleur, pour des poudres différentes, on pourrait donc, à la rigueur, s'en tenir à cette seule observation pour bien apprécier les propriétés et les effets de ces poudres.

Malheureusement il est difficile, pour ne pas dire impossible, d'obtenir cette donnée d'une manière très-approchée, à cause de la violence même des effets de la combustion de la poudre, à cause du volume considérable qu'atteignent les gaz produits.

Plusieurs auteurs (1) ont essayé de construire, dans ce but, des appareils fondés sur le principe du calorimètre de Laplace et de Lavoisier. Mais ils n'ont pu alors opérer que sur de très-petites quantités de poudre, souvent même que sur du pulvérin tassé dans un petit tube. Or, il paraît permis de douter qu'on puisse juger ainsi de différences peu considérables dans les puissances calorifiques de poudres diverses.

La combustion doit, d'ailleurs, s'opérer alors dans un tube hermétiquement fermé et rempli d'air, ce qui introduit d'autres causes d'erreurs ou d'incertitude de plusieurs espèces.

On peut donc dire, qu'il faut renoncer tout à fait à faire brûler la poudre en vase clos, à mesurer l'élévation de température qu'elle communique ainsi à une plus ou moins grande masse d'eau ; et, pour rendre plus sensibles, au contraire, les différences

(1) Entre autres, MM. Bunsen et Schischkoff.

de chaleur dégagée, il faudrait pouvoir opérer sur des poids assez considérables de matières.

On a représenté (fig. 4) un projet d'appareil : il est bien simple.

Il consiste en un cylindre creux en cuivre embouti *a*, logé dans une boîte cylindrique en forte tôle *b*, sur le fond de laquelle la base du cylindre *a* repose, sans y être ni soudée, ni fixée d'aucune autre manière, afin que ces diverses parties métalliques puissent se dilater librement.

Une deuxième boîte *c*, aussi en tôle et plus grande que la première, enveloppe celle-ci qui repose sur le fond de *c* par des pieds *p* ; à la partie supérieure cette boîte forme, au moyen de rebords, une cuvette où l'on peut entretenir de l'eau.

Les boîtes *b* et *c* sont assujetties, par le haut seulement, au cylindre *a* ; quatre tringles verticales *f*, rivées au fond supérieur et au fond inférieur de *b*, maintiennent la position du cylindre creux *a* ; enfin des équerres en fer fixent tout le système, au moyen d'écrous à vis, sur un plateau en bois ou en fonte *q*.

A la partie supérieure de la boîte *b* aboutit un tuyau *t* qui est lui-même enveloppé dans un tuyau d'un plus grand diamètre *s*. Tout l'espace vide

compris entre les deux tuyaux *t* et *s*, entre les deux boîtes *b* et *c*, serait rempli d'une substance isolante bien tassée. Le charbon ne convenant pas très-bien ici, on donnerait la préférence à de la poudre de verre obtenue en pilant assez fin un verre très-infusible, ou des laitiers de hauts-fourneaux.

On ferait brûler dans le cylindre creux *a* des cylindres de poudre préparés à la presse hydraulique et enduits de suif. Il serait facile de recueillir, en une seule observation, les vitesses de combustion de ces barreaux cylindriques, en même temps que les indications nécessaires pour comparer les quantités de chaleur développées dans la combustion des diverses poudres en essai.

C'est sur la dilatation de l'air contenu dans la boîte *b* que serait d'abord basée cette comparaison des puissances calorifiques des poudres : on a fait le cylindre creux *a* en cuivre rouge, parce que ce métal résiste à une très-haute température et parce qu'il est très-bon conducteur.

On s'est du reste ménagé, dans la construction de l'instrument, la faculté de remplacer ces pièces en cuivre qui n'auront pas, il faut s'y attendre, une durée indéfinie.

Le tuyau *t* aboutirait à un manomètre à mercure

ou à un manomètre métallique ; il serait prudent et très-convenable d'interposer un écran entre l'appareil et le manomètre.

Voici comment on procéderait aux expériences :

La pression *p* de l'air dans la boîte *b* étant prise au commencement de l'expérience par l'observation de la pression au baromètre du laboratoire, et la températur *t* de cet air ayant aussi été observée, on place dans le cylindre *a* un cylindre de poudre, puis on y met le feu.

La chaleur qui se dégage pendant que la poudre brûle, a le temps de se communiquer à l'air de la boîte *a*, et dilate celui-ci dont la pression augmente par suite, puisque son volume reste à très-peu près constant, avec le manomètre à mercure, et presque rigoureusement le même, si l'on fait usage d'un manomètre métallique.

Il s'établit un état d'équilibre entre la force élastique de l'air du manomètre et celle de l'air dilaté : on observe avec attention la hauteur la plus grande jusqu'où la colonne de mercure s'élève. Cette hauteur correspond évidemment à la tension la plus grande de l'air de la boîte *b*, à l'instant où la chaleur développée est la plus forte. Il serait même intéressant de noter à quel intervalle de temps, du

moment où le feu a été communiqué au cylindre de poudre, cette chaleur maxima s'est produite, et combien de temps elle s'est maintenue avant de décroître.

Manomètres à maxima. — Pour bien faire, il faudrait, en vue de ces expériences, introduire dans la construction du manomètre à mercure ordinaire une petite modification, dont le principe n'est pas nouveau sans doute, mais qui n'a cependant été appliquée nulle part encore, et qui ferait aisément du manomètre ordinaire un manomètre *à maxima*. Il suffirait, en deux mots, de placer dans le tube manométrique vertical un petit flotteur en fer très-léger, et ne présentant pas de larges surfaces planes, que la colonne de mercure soulèverait en s'élevant, et que l'action d'un petit ressort, en forme de spirale, maintiendrait dans l'intérieur du tube à la position la plus élevée quand le mercure redescendrait. Avant de recommencer une nouvelle observation, on se servirait d'un barreau aimanté pour abaisser le flotteur dans le tube jusqu'à la hauteur où le mercure se serait arrêté.

Le manomètre métallique serait très-susceptible de recevoir une modification semblable. L'aiguille, dans son mouvement, entraînerait un corps très-

léger glissant sur une tringle très-mince disposée en arc de cercle ; elle abandonnerait ce corps dès qu'elle commencerait à rétrograder.

Ces modifications seraient d'autant plus importantes, qu'il ne serait pas prudent à l'opérateur de se tenir trop près de l'appareil pendant la déflagration de la poudre, comme l'exigerait, sans cela, l'observation à faire de la hauteur manométrique. Au reste, pour suivre commodément les oscillations de la colonne de mercure, comme il serait à désirer qu'on pût le faire, il deviendrait probablement nécessaire de placer le manomètre dans une chambre, tout en laissant l'appareil à l'extérieur.

En appelant P la pression maxima indiquée par ce manomètre, et T la température correspondante; comme le volume v de l'air de la boîte en tôle b n'a pas varié sensiblement, on a entre p et P la relation connue $P = p\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}$, de laquelle on tirera la valeur de T, qui est ici la seule inconnue :

$$T = \frac{P(1 + \alpha t) - p}{\alpha p}.$$

D'après cette valeur, les températures de 600 à 1,000° centigrades correspondent à des pressions de trois atmosphères à quatre et demie atmosphères ;

on n'aura donc d'observations à faire que dans les parties du tube manométrique où les différences de pression peuvent être mesurées avec assez de précision, parce qu'elles font varier de hauteurs assez grandes la colonne de mercure.

Il doit être bien entendu qu'on n'a point la prétention de présenter cet instrument comme donnant un moyen exact de *mesurer* la quantité de chaleur développée par la combustion de la poudre, et qu'on ne pense recueillir, par ce procédé, que des moyens de *comparer* entre elles les puissances calorifiques des diverses compositions. Il se perd inévitablement, en effet, une partie notable de la chaleur produite : mais il semble qu'on sera néanmoins en position de savoir, après ces nouvelles épreuves, si telle poudre est plus ou moins vive que telle autre.

Les cylindres de poudre devront être exactement de poids égaux. Il sera bon que leur hauteur soit telle que le haut du cylindre de composition reste un peu au-dessous du point de réunion de la boîte intérieure *b* avec le cylindre creux *a*.

Si l'on possède un bon thermomètre donnant les dixièmes de degré, on pourra chercher à mesurer la température acquise par l'eau qu'on aura eu soin

de placer dans la cuvette ménagée à la partie supérieure de l'appareil.

Il est évident que la température de l'eau sera d'autant plus élevée que la chaleur dégagée pendant la déflagration du barreau de poudre aura été plus considérable.

Il ne sera pas facile de suivre les variations de ce thermomètre pendant la durée de l'expérience; peut-être devra-t-on se borner à avoir un thermomètre à maxima, dont la boule plongerait dans la cuvette, et qui serait d'ailleurs mis à l'abri des gaz enflammés ou des projections de matières en ignition, au moyen d'une enveloppe en métal, placée horizontalement, par exemple.

Pour prévenir les accidents, pour éviter les dégradations trop rapides de l'appareil, il ne faudra pas faire les cylindres de poudre sous des pressions trop faibles, ni se servir de poudre grenée.

En essayant au moyen de ce petit appareil des cylindres de poudre confectionnés à des pressions différentes, on pourra se rendre compte, avec une certaine exactitude, de l'influence de la densité des grains sur la chaleur dégagée, en ayant aussi égard à la vitesse de combustion.

On pourra encore comparer les quantités de cha-

leur fournies par des longueurs des divers cylindres consommées dans l'unité de temps. Il faut bien s'attendre à ce que de tout cela il ressorte quelque chose de nouveau, d'imprévu peut-être, relativement aux propriétés si peu connues des différentes espèces de poudre.

Résumé. — En résumé, les appareils bien peu coûteux et bien faciles à établir dont on vient de faire la description, permettent de comparer les diverses poudres entre elles, de recueillir sur chacune d'elles tous les renseignements suivants, si on le juge nécessaire, ou bien ceux d'entre eux seulement auxquels on jugera convenable d'avoir égard dans chaque cas particulier :

1° Volume total exact des gaz produits par un poids donné de poudre ;

2° Quantité d'eau formée dans la combustion ;

3° Poids de l'acide carbonique contenu dans le mélange gazeux ;

4° Poids de l'acide sulfhydrique contenu dans le mélange gazeux ;

5° Poids de l'oxygène contenu dans le mélange gazeux ;

6° Poids du soufre qui n'a pas été brûlé ;

7° Id. du charbon id. ;

8° Poids du sulfure de potassium dans les résidus solides;

9° Poids de l'hyposulfite de potasse dans les résidus solides;

10° Poids du sulfate de potasse dans les résidus solides;

11° Poids du carbonate de potasse dans les résidus solides;

12° Poids approximatif (par différence) de l'oxyde de carbone formé;

13° Quantités de chaleur développées comparativement dans la combustion de poids égaux de diverses poudres;

14° Enfin, vistesses de combustion de ces poudres sous des densités différentes.

En comparant les poudres d'aussi près, en réunissant et en groupant toutes ces indications sur la manière dont se sont produites les réactions chimiques entre les composants de ces poudres, on aura plus de renseignements qu'il ne serait à coup sûr nécessaire d'en avoir pour établir, d'une manière positive, quelles sont les propriétés particulières de chacune d'elles.

Ces mêmes appareils pourront servir à résoudre aussi une foule de questions qui se sont offertes à

nous d'une façon incidente dans le courant de ce mémoire. C'est le rôle que joue l'oxygène de l'air dans la combustion de la poudre; c'est l'influence qu'exerce la présence de l'eau hygrométrique sur les effets de celle-ci; l'influence de la nature et du degré d'humidité du charbon, de la densité des grains, etc.; et, si nous abordons des sujets d'une plus haute utilité pratique, c'est encore le contrôle de la régularité des procédés de la fabrication courante, la détermination de la durée du battage, la comparaison des poudres des pilons et de celles des meules, etc...; c'est enfin, comme on le verra bientôt, la grande affaire du meilleur dosage à adopter pour les poudres de guerre destinées aux nouvelles pièces rayées.

Toutes ces questions ne peuvent pas être considérées comme étant exclusivement du domaine de l'Artillerie; elles constituent certainement l'une des plus délicates et des plus intéressantes applications des nouvelles théories chimiques.

Pour montrer combien peut être féconde l'idée, bien naturelle et bien simple, de remonter ainsi des effets aux causes, d'interroger les produits de la combustion de diverses poudres pour savoir comment la combustion s'est opérée dans chaque

cas, pour en conclure de minutieux et utiles renseignements sur les qualités de ces poudres, nous allons présenter, en finissant, et comme nous l'avons annoncé, les résultats de quelques analyses qui semblent offrir un grand intérêt moins encore parce qu'ils donnent la solution bien nette d'une question très-importante par elle-même, que parce qu'ils démontrent tout ce qu'on doit attendre de l'application de la méthode qu'on vient d'exposer.

Recherche des propriétés brisantes de différentes poudres basée sur l'analyse des produits de la combustion de ces poudres. — Les poudres de guerre doivent satisfaire à des conditions multiples qui ont toutes une haute importance, dont aucune ne peut être sacrifiée aux autres, et qui exigent, par suite, qu'on emploie la plus grande circonspection dans l'étude de tous les changements qu'on serait porté à introduire dans les procédés de fabrication actuels qui donnent, en définitive, une poudre d'un bon service en campagne, se conservant bien dans les magasins ainsi que dans les transports, ne détériorant pas trop rapidement l'âme des bouches à feu, dont la préparation enfin est économique et facile.

Des innovations introduites sans un mûr examen,

dans le but d'augmenter la puissance balistique de la poudre, d'en abaisser le prix de revient, etc... ; pourraient devenir bien fâcheuses à l'un de ces divers points de vue, et surtout si elles conduisaient à fabriquer des poudres brisantes.

Mais s'il est incontestable qu'il ne faut toucher à la poudre de guerre qu'avec la plus grande prudence, il ne semblerait pas admissible, cependant, de repousser de parti pris, dans le temps où nous vivons, toute pensée d'amélioration, toute idée de progrès à cet égard.

Or, on sait depuis longtemps que la régularité de l'action de la poudre ne dépend pas seulement du mélange bien intime des composants, de l'égalité de grosseur des grains, etc... mais bien plus encore de la pureté du salpêtre, du soufre, du charbon.

La poudre n'a existé, à proprement parler, que du jour où l'on a compris la nécessité de raffiner le salpêtre ; et l'importance de cette opération est telle, en effet, que l'État a jugé indispensable de préparer lui-même, pour ses poudreries, le salpêtre et le soufre, afin de les obtenir à un degré convenable de pureté.

« Il est nécessaire (1), » dit le colonel Susane, « que le salpêtre et le soufre soient purs, que le « charbon provienne d'un bois tendre, ramené « par une distillation savante à un degré précis de « carbonisation. »

La distillation comme on la pratique aujourd'hui, dans les chaudières, dans les fosses, ne peut fournir, d'une manière certaine, du charbon noir exempt de graviers, de braisette, exempt aussi de brûlots, de charbon roux ; et le triage à la main n'est même pas toujours suffisant pour assurer l'homogénéité du charbon qu'on recueille (2).

(1) L'invention de la poudre, par le colonel Susane.

(2) Voici, du reste, l'opinion de M. Violette à ce sujet (Mémoire déjà cité) :

« La variation méconnue, ou négligée jusqu'à présent, des « charbons dans leur titre en carbone, explique suffisam- « ment, selon moi, non-seulement la variation des portées des « poudres, mais encore celle des dosages adoptés par les dif- « férents peuples..... » Et, un peu plus loin : « La direction « des poudres fait connaître, chaque année, les portées ba- « listiques des poudres fabriquées par les diverses poudre- « ries, et signale toujours des différences notables, quoique « les instruments de fabrication soient les mêmes ; on re- « marque aussi, dans le même établissement, des variations « dans le tir de la même poudre ; c'est parce que les procé- « dés de carbonisation varient d'un établissement à un

Depuis longtemps déjà on prépare le charbon des poudres de chasse en distillant le bois de bourdaine dans des cylindres en fonte montés sur un fourneau et régulièrement chauffés : ce procédé donne de très-bons résultats pour ce genre de poudres ; il a, d'une manière générale, l'avantage de permettre de juger, par la comparaison du poids du résidu-charbon au poids du bois lui-même, du point jusqu'où a été conduite la carbonisation, de donner, par suite, un charbon d'une composition plus régulière ; la distillation dans les cylindres semble donc un moyen tout naturellement indiqué pour ramener le bois de bourdaine « *à un degré précis de carbonisation*. »

Mais ce charbon des cylindres ne communiquerait-il pas aux poudres de guerre des propriétés destructives des bouches à feu ? et jusqu'à quel point la carbonisation du bois devrait-elle d'ailleurs être poussée ?

Des questions de cette importance ne pouvaient échapper à la sollicitude du Comité de l'Artillerie; mais nous n'avons pas à nous occuper ici des nom-

« autre, et que, dans la même poudrerie, le procédé en « usage, ..., ne donne pas des charbons constants et homogènes. »

breuses expériences qui ont été faites en France à ce sujet, dans ces dernières années.

Cherchons seulement à faire l'application des principes qui ont été posés précédemment et des appareils qui viennent d'être décrits, pour comparer entre elles, au point de vue de leurs propriétés brisantes, trois poudres qui ne diffèrent que par la nature et le mode de préparation de leur charbon.

Les trois poudres à canon soumises aux analyses dont nous avons à examiner en quelques mots les résultats, étaient :

1° Une poudre avec charbon des chaudières, au rendement de 22 °/₀ (1);

2° Une poudre avec charbon des cylindres, rendement, 32 °/₀ ;

3° Une poudre avec charbon des cylindres, rendement, 39 °/₀.

Nous avons pris des échantillons de 20 grammes de chaque poudre ; nous avons brûlé successivement chacun d'eux dans l'appareil, et nous avons

(1) Il arrivera quelquefois, dans la suite de ce Mémoire, que ces diverses poudres seront désignées, pour abréger, par la dénomination de poudre 22, poudre 32, poudre 39.

recueilli, comme il a été expliqué précédemment, les produits solides et gazeux de la combustion.

Comparaison des volumes gazeux. — La première chose à faire, est de mesurer le volume des gaz dégagés par la combustion des 20 grammes de poudre. Ces gaz sont répandus dans l'obus et dans le ballon ; c'est, comme on l'a vu, sur les gaz de l'obus qu'on opère pour en déterminer d'abord la force élastique.

La formule qui donne la valeur du volume à zéro, V_0, des gaz de la poudre, est :

$$V_0 = (v + v_1)\frac{p_1}{0,76}\frac{1}{1+\alpha t};$$

et pour déterminer p_1, on a cette autre relation :

$$p_1 = \frac{PV - p'v'}{v} - (p' + p'')\frac{v}{v+v_1}.$$

Ces formules appliquées (1) aux observations

(1) Voici un exemple de ces calculs pour la poudre réglementaire avec charbon au rendement de 22 0/0 :

$$P = 0^m,75 - 0^m,035 = 0^m,715,$$

$$V = 2350^{cc} + 18^{cc},5 - 0^{cc},12 \times 3,5 = 2368^{cc},08,$$

$$p' = 0,750, \qquad v = 2350^{cc}, \qquad PV = 1693^{cc},117,$$

$$v' = 18^{cc},5, \qquad v_1 = 5675, \qquad p'v' = 13,875,$$

$$p'' = 0,006, \qquad v + v_1 = 8025, \qquad PV - p'v' = 1679,302,$$

$$p' + p'' = 0,756, \qquad \frac{v}{v+v_1} = 0,292, \qquad \frac{PV - p'v'}{v} = 0,7146,$$

$$(p' + p'')\frac{v}{v+v_1} = 0,2207, \qquad p = 0^m,4939.$$

relatives aux trois échantillons de 20 grammes de poudre donnent :

Pour la poudre 22. . . 4879^{cc},200 ;
Id. 32. . . 4632^{cc},425 ;
Id. 39. . . 4742^{cc},777 ;

ce qui fait pour 1 gramme de poudre brûlée :

243^{cc},96 pour la poudre 22 ;
231^{cc},62 id. 32 ;
et 237^{cc},14 id. 39 ;

MM. Bunsen et Schischkoff avaient trouvé 193^{cc},10 de gaz par gramme de poudre, mais pour une poudre qui diffère sensiblement de la poudre de guerre française.

Il faut donc prendre note, dès maintenant, que la poudre 22 est celle dont la combustion dégage *le plus grand volume* de gaz, et que la poudre 32 est celle qui en produit le moins.

On pourrait en conclure, sans aller plus loin, que la poudre 22 doit avoir les effets balistiques

On a ensuite :

$$V_0 = 8025^{cc} \frac{0,4939}{0,76} \frac{1}{1+20\times 0,0036} = 8025^{cc}.\ 0,620 = 4879^{cc},200.$$

Pour la poudre 32 on a obtenu :

$P = 0^{m},69$; $V = 2367^{cc},78$; $p' = 0,7499$; $v' = 18^{cc},5$,

Pour la poudre 39 :

$P = 0^{m},701$; $V = 2367^{cc},924$; $p' = 0,7493$; $v' = 18^{cc},5$.

les plus puissants, et que toutes les fois que la poudre 39, par exemple, donnera, dans les mêmes circonstances de tir, des vitesses initiales plus considérables, cela sera dû inévitablement à l'élévation plus grande de la température et à la dilatation des gaz.

C'est là un premier renseignement bien précieux, car si avec la poudre 39 la température s'élève, le bronze des canons ne peut manquer d'en souffrir.

Or, par des expériences directes, au fusil-pendule, en opérant, par conséquent, d'abord, sur de petites quantités de poudre, on a trouvé que la vitesse initiale avec la poudre 22 était *plus grande* qu'avec la poudre 39, ce qui s'explique très-bien, si l'on admet que l'élévation de la chaleur produite, et en partie absorbée par les parois si bonnes conductrices de l'arme, n'a pas été suffisante, vu le faible poids de la charge, pour compenser le volume moins considérable des gaz dégagés dans le deuxième cas ; si l'on tient compte aussi de ce que les vitesses d'inflammation et de combustion ont été trouvées plus fortes pour la poudre réglementaire que pour les autres.

Mais en tirant à fortes charges, au tiers du poids

du boulet dans des canons de 24, les résultats ne sont plus les mêmes.

Malgré une vitesse d'inflammation et une vitesse de combustion *plus faibles*, malgré un dégagement moins abondant de gaz (1), c'est la poudre 39 qui communique aux projectiles *la plus grande* vitesse, et certainement alors aux dépens du métal à canon, qui a à supporter une température plus élevée. Chose qu'il était facile de prévoir, c'est la poudre 32 qui donne *la plus petite* vitesse initiale ; les gaz, moins abondants que pour les poudres 22 et 39, ne sont pas portés, évidemment non plus, à une température aussi haute que dans la poudre 39 elle-même.

Cette augmentation de la chaleur produite n'est-elle pas toute naturelle, au reste ? En quoi le charbon 39 diffère-t-il du charbon 22 ? En ce que le premier renferme encore de l'oxygène, de l'hydrogène. Or, cet hydrogène, le combustible par excel-

(1) D'après les valeurs trouvées ci-dessus, la charge de 4 kilogrammes de poudre développe un volume de gaz qui est de :

975,840	centimètres	cubes	pour la poudre	22 ;
926,480	—	—	—	32 ;
948,560	—	—	—	39.

lence, le corps qui produit en brûlant la plus grande quantité de chaleur, ne pourra évidemment s'enflammer pendant la combustion de la charge, sans élever notablement la température des gaz. Pour la poudre 32, qui renferme moins d'hydrogène que la poudre 30, il y aura forcément moins de chaleur développée : tout cela est conforme aux faits observés.

Ainsi donc, la seule détermination du volume gazeux développé par la combustion d'un gramme de chacune des différentes poudres nous éclairerait assez complètement déjà sur leurs effets destructeurs des bouches à feu.

Passons à la détermination des résidus solides.

Résidus solides. — Nous n'entrons pas ici dans le détail des précautions à prendre pour bien détacher de l'intérieur de l'obus, au moyen de lavages successifs à l'eau chaude, tous les résidus (1) qui

(1) On a déjà parlé, dans une note précédente, de l'opinion de MM. Taillefert et Colin, qui attribuent à la présence d'un peu de sulfure de carbone l'odeur caractéristique des gaz de la poudre.

Lorsqu'on ouvre le robinet de l'obus, d'où les gaz s'échappent avec force, on reconnaît, en effet, l'odeur franche et prononcée du sulfure de carbone.

Si l'on dévisse rapidement alors le petit mortier en bronze,

ont pu rester adhérents aux parois. Toutes les eaux recueillies, et les matières qui y restent en suspension, sont jetées sur un double filtre, qu'on pèse après l'avoir convenablement lavé et séché, le filtre extérieur devant servir de tare à l'autre.

La différence de poids des deux filtres donne le poids des matières qui ont échappé à la combustion.

On a trouvé ainsi :

1g,0475 de résidu pour la poudre 22 ;

0g,6500 pour la poudre 32 ;

0g,5604 id. 39.

on y trouve un dépôt plus ou moins abondant, et d'une belle couleur jaune citron, de sulfure de potassium. Ce sulfure s'altère immédiatement par le contact de l'air, et brunit en dégageant de l'acide sulfhydrique. Cet effet est tellement certain que, dans une première série d'expériences, ayant employé un mortier au culot duquel il y avait un défaut de fonte et une fissure imperceptible, et ayant été averti, par le manomètre, que l'obus laissait entrer l'air, on a trouvé, au point défectueux, une tache circulaire brune au milieu du dépôt d'un beau jaune clair.

Les dissolutions essayées par le sulfate de manganèse ont donné, toutes trois, des dégagements plus ou moins intenses de gaz, ce qui tendrait à démontrer que le sulfure de potassium n'est pas resté à l'état de monosulfure, et est devenu sulfhydrate de sulfure HS, KS.

En traitant ces filtres par des dissolutions chaudes de sulfite de soude, sel qui dissout le soufre pour passer à l'état d'hyposulfite, puis lavant et séchant enfin une deuxième fois, on a obtenu les poids suivants, pour le charbon resté sur les filtres dans chaque cas :

$0^g,834$ pour la poudre		22 ;
$0^g,543$	id.	32 ;
$0^g,4019$	id.	39.

Les différences de ces nombres aux premiers donnent les quantités de soufre non comburé pendant la déflagration de la poudre ; ces différences sont respectivement :

$0^g,2135$, $0^g,107$, $0^g,1585$.

La discussion de ces résultats obtenus bien simplement, et en qui on peut avoir toute confiance, puisqu'il ne s'agit absolument jusqu'ici que de pesées à faire, ne manque pas d'intérêt.

D'abord, on est surpris que 20 grammes de poudre puissent donner jusqu'à $1^{gr},0475$ de résidu soufre et charbon : cela explique bien les effets d'encrassement si rapides dans le tir à faibles charges des bouches à feu rayées.

On est conduit à se demander si le dosage traditionnel *six as et as* est bien le dosage le meilleur

possible, puisqu'il introduit, dans un poids de 20 grammes du mélange, 0g,834 de charbon et 0g,2135 de soufre, qui se comportent comme des substances inertes en quelque sorte.

Ne pourrait-on pas espérer une très-réelle amélioration des poudres de guerre, en supprimant ces poids inutiles, ou tout au moins sans emploi, des deux substances constitutives ; en prenant, avec 75 de salpêtre, 8,33 seulement de charbon (au lieu de 12,50), et 11,433 de soufre (au lieu de 12,50) ?

Il resterait à voir, sans doute, si les poudres ainsi composées satisferaient bien à toutes les autres conditions des bonnes poudres de guerre. Mais, dans le cas où elles seraient reconnues d'un bon service, elles auraient le très-grand avantage de ne pas encrasser les bouches à feu, même aux petites charges dont on fera, à l'avenir, un si fréquent usage avec les canons rayés. Quant à la puissance balistique de la poudre modifiée, on ne voit pas, à priori, pourquoi elle serait inférieure à celle de la poudre réglementaire, puisque les réactions s'opéreraient dans les deux cas de la même manière, et entre des quantités parfaitement égales de matières.

Nous avons cherché à apprécier, et d'après

M. Violette, le rôle du soufre et du charbon dans la période d'inflammation de la poudre; nous avons été conduit à admettre que c'est le soufre qui brûle le premier et qui favorise, par la chaleur que sa combustion développe, la décomposition de l'azotate de potasse et l'oxydation plus ou moins prononcée du charbon.

Il en résulte que le soufre doit brûler le plus complètement possible, et le carbone rester, par conséquent, en plus grande quantité dans les résidus fournis par les poudres qui produisent la température la moins élevée; et, en effet, nous avons trouvé 0g,834 de carbone pour 0g2138 de soufre sur le filtre de la poudre 22.

Comparons-nous, au contraire, sous le même rapport, les poudres 32 et 39, par exemple?

Dans les résidus de la poudre 39 nous avons 0g,1585 de soufre, tandis qu'il n'y en a que 0g,107 dans ceux de la poudre 32. N'est-ce pas là la preuve que la température s'est élevée davantage pour la première; que le carbone est plus tôt et plus énergiquement entré en jeu, ce qui explique qu'il ne soit plus resté assez d'oxygène pour satisfaire en même temps les affinités d'une quantité de soufre

aussi grande dans le premier cas que dans le second?

Détermination de l'acide carbonique contenu dans les gaz. — Pendant qu'on filtre les eaux qui ont servi à laver soigneusement l'obus et le petit mortier en bronze, on a tout le temps de chercher quel volume d'acide carbonique renferment les gaz de la poudre recueillis dans le ballon en verre.

Après avoir introduit dans son intérieur, comme il a été dit, un volume déterminé de potasse, et avoir convenablement agité, on porte le ballon au manomètre à air; on applique les mêmes formules, en y introduisant les nouvelles valeurs observées (1) et en passant par la même série de calculs. On a trouvé, en opérant ainsi:

1° Que 1 gramme de la poudre 22 dégageait 119^{c}, 33 d'acide carbonique, et qu'il y avait, par conséquent, en outre, 124^{cc},63 de gaz, composés en grande partie d'oxyde de carbone et d'azote;

2° Que 1 gramme de la poudre 32 produisait

(1) On a eu,

Pour la poudre 22 : $P = 0^{m},750 - 0^{m},2589 = 0^{m},4911$,
$V = 2368^{cc},5 - 3^{cc},52 = 2364^{cc},98$;

— — 32 : $P = 0^{m},750 - 0^{m},334 = 0^{m},416$,
$V = 2368^{cc},5 - 4^{cc},008 = 2364^{cc},492$;

— — 39 : $P = 0^{m},750 - 0^{m},34 = 0^{m},410$,
$V = 2368^{cc},5 - 4^{cc},08 = 2364^{cc},42$.

136^{cc},765 d'acide carbonique, ce qui donnerait 94^{cc}, 855 du mélange des autres gaz.

3° Enfin, que 1 gramme de la poudre 39 fournissait 145^{cc} d'acide carbonique et 91^{cc},966 d'autres gaz.

Ces chiffres apportent une nouvelle confirmation de l'exactitude des considérations exposées dans les premières pages de ce mémoire : c'est bien la poudre qui brûle avec le dégagement de chaleur le plus considérable, la poudre 39, qui engendre le plus d'acide carbonique.

Si l'on se reporte, d'ailleurs, à ce qui a été posé en principe un peu plus loin, que le volume de l'azote, contenu dans les gaz, doit augmenter quand l'oxydation du soufre et du charbon, aux dépens de l'oxygène fourni par le salpètre, est plus complète; si l'on compare les volumes gazeux dont les valeurs, abstraction faite de l'acide carbonique, sont respectivement, comme on vient de le voir,

	124^{cc},63	94^{cc},855	91^{cc},966
pour les poudres,	22	32	39

on peut affirmer que les gaz de la poudre 22, qui doivent renfermer moins d'azote que ceux de la poudre 39, contiennent par conséquent un volume assez considérable d'oxyde de carbone.

Dans la plupart des cas, il ne sera pas nécessaire d'aller plus loin, ni d'entreprendre l'analyse eudiométrique des gaz, d'après les indications précitées de MM. Bunsen et Schischkoff.

Il ne faut pas oublier, que le but de ce mémoire est de simplifier les appareils et les procédés d'expérimentation de manière à les rendre pratiques, à les mettre à la portée de tout le monde ; et c'est pour cela qu'on s'est attaché à en écarter tout ce qui pourrait paraître trop scientifique, ou d'une application trop difficile dans le service courant des établissements de l'Artillerie.

Il y a, du reste, un moyen très-commode de vérifier, d'une manière approximative au moins, si les quantités d'acide carbonique, dégagées par chacune des poudres, varient bien comme on l'a observé. Ce moyen consiste, tout simplement, à rechercher quelle est celle des trois dissolutions de potasse qui renferme le plus de carbonate de potasse.

Pour cela, il est essentiel d'abord que la dissolution de potasse employée soit la même dans tous les cas ; on la prépare en dissolvant, dans un volume convenable d'eau distillée, un poids connu de potasse à l'alcool.

On prend ensuite, avec une pipette graduée, un même volume des trois dissolutions ayant servi à laver le ballon en verre après chaque expérience ; on y ajoute un peu de teinture de tournesol. Puis on sature la potasse restée libre par de l'acide acétique glacial étendu d'eau distillée, que l'on verse goutte à goutte, en se servant d'une burette graduée, jusqu'à ce que le dégagement de l'acide carbonique commence, et fasse passer le tournesol au rouge vineux.

Dans la série d'expériences dont il est rendu compte, on a opéré sur 50 centimètres cubes des dissolutions de potasse ; on a employé de l'acide acétique étendu de vingt fois son volume d'eau distillée ; on a consommé 19^{cc} d'acide pour saturer la potasse de la poudre 22, et seulement 13^{cc},50 pour la poudre 32,9^{cc} pour la poudre 39. Cela confirme bien que, comme nous l'avons reconnu par la mesure de la tension des gaz, la poudre 39 est celle qui dégage le plus d'acide carbonique, la poudre 22 celle qui en produit le moins.

Détermination de l'acide sulfhydrique. — Comme on l'a vu ci-dessus, les trois dissolutions de potasse peuvent servir à déterminer encore les quantités d'acyde sulfhydrique formées pendant la combus-

tion de chacune des trois poudres et restées dans les mélanges gazeux.

Il n'y a pas lieu de revenir sur le dosage du soufre dans ces liqueurs au moyen de l'iode; mais il faut faire une réserve, à cet égard, avant d'aller plus loin.

Lorsqu'on ouvre, très-peu de temps après la déflagration d'un échantillon de poudre, le robinet qui fait communiquer l'obus avec le ballon dans lequel on a fait le vide, on voit celui-ci se remplir parfois d'une fumée opaque, et sur ses parois se forme bientôt après un dépôt jaune citron de sulfure de potassium.

Si l'on attend un peu plus longtemps avant de faire arriver les gaz dans le ballon, celui-ci conconserve sa transparence, et le dépôt, dont il vient d'être question, ne se forme pas d'une manière bien apparente; mais on ne peut répondre, cependant, que les gaz ne tiennent pas encore en suspension un peu de sulfure, par suite de la présence duquel on aurait tort d'admettre que tout le soufre qu'on trouve dans les dissolutions de potasse était passé à l'état d'acide sulfhydrique.

L'essai des potasses par l'iode aura donc l'avantage de faire retrouver de petites quantités de sul-

fure de potassium qui peuvent avoir été entraînées par les gaz.

La dissolution alcoolique d'iode avait été préparée, pour cette série d'analyses, au dosage de un trentième de gramme par centimètre cube de liqueur.

Pour chasser le soufre de ces combinaisons, et pour arriver à colorer ensuite en bleu d'amidon, il a fallu en employer 6^{cc},4 pour la poudre 22, 6^{cc}, 2 pour la poudre 32, 5^{cc},1 pour la poudre 39.

Le volume total de la potasse étant de 270^{cc}, et 126 grammes d'iode pouvant déplacer 16 grammes de soufre, on en conclut que les poids du soufre qui existaient dans les dissolutions de potasse des poudres 22, 32 et 39, sont respectivement

0^{g},146, 0^{g},139, 0^{g},051.

La quantité de 0^{g},146 du soufre pour la poudre 22 est évidemment trop forte pour provenir uniquement de la décomposition de l'acide sulfhydrique ; il y a eu là certainement du sulfure de potassium entraîné.

Au reste, on peut reconnaître, en faisant fonctionner les appareils, qu'il se forme bien plus de sulfure dans la combustion de la poudre 22 que dans celle des deux poudres 32 et 39 : les vapeurs

opaques qui viennent remplir le ballon en même temps que les gaz, ont toujours été beaucoup plus abondantes dans le premier cas que dans les autres.

Analyse des liqueurs filtrées. — Pour chaque échantillon de poudre, les liqueurs filtrées sont réunies dans un même flacon.

On verse dans ce flacon un poids convenable d'oxyde de cuivre, on agite : au bout de très-peu de temps la réaction s'opère et la liqueur se décolore presque complètement, le sulfure de potassium se transformant en sulfure de cuivre. On laisse digérer le temps nécessaire, en ayant soin d'agiter fréquemment encore, puis on jette sur un filtre qu'on lave avec soin. On mesure, au moyen d'une éprouvette graduée, le volume du liquide recueilli : c'est dans ce liquide qu'on doit chercher soit le sulfate de potasse, soit le carbonate de potasse, soit enfin l'hyposulfite de potasse (1).

(1) Pour ne pas compliquer sans utilité ces analyses qui n'ont pas pour but, dans le cas qui nous occupe, de rechercher *tous* les corps formés dans la combustion des diverses poudres, mais seulement de déterminer en quelles proportions exactes tels ou tels corps se trouvent dans les résidus de ces diverses poudres, nous ne parlerons pas de l'hyposul-

Sulfate de potasse. — On a pris un volume déterminé, soit 150^{cc}, de chacune des dissolutions; on a ajouté du nitrate de baryte ; on a filtré, lavé le précipité de sulfate de baryte ; on a séché les filtres avec les précautions ordinaires, on les a pesés, et on a trouvé ainsi :

1^{g},9685 de sulfate de baryte pour la poudre 39;
1^{g},663 pour la poudre 32 ;
1^{g},616 id. 22.

100 grammes de sulfate de baryte contenant 13^{g},797 de soufre, il en résulte que le poids total de soufre qui s'est changé en acide sulfurique dans chaque cas, a été de :

2^{g},17 pour la poudre 39 ;
1^{g},836 id. 32 ;
1^{g},116 id. 22.

Tous ces résultats sont donc parfaitement d'accord ; cette fois, on le voit, il s'est formé d'autant plus d'acide sulfurique, dans la combinaison du soufre avec l'oxygène fourni par le salpêtre, que la température de la combustion était plus élevée.

Carbonate de potasse. — Pour précipiter le car-

fite de potasse : nous avons déjà donné, plus haut, un exemple de l'essai d'une liqueur sulfureuse par la teinture d'iode, et cette opération ne présente aucune difficulté.

bonate de potasse au moyen de l'eau de chaux, ainsi qu'on l'a déjà expliqué, il faut commencer par saturer les dissolutions.

Nous avons employé pour cela l'acide acétique glacial étendu de vingt fois son volume d'eau.

Il était intéressant de noter les volumes employés pour chaque poudre, afin de se rendre compte des quantités relatives de potasse qui peuvent rester dans les liqueurs à l'état d'hydrate de potasse.

On a opéré sur 100^{cc} des liqueurs, auxquelles on avait ajouté 3^{cc} de teinture de tournesol (1).

On a eu à employer, pour neutraliser les trois liqueurs,

0^{cc},80 d'acide acétique étendu, pour la poudre 22 ;
0^{cc},62 du même acide, pour la poudre 32 ;
0^{cc},45 enfin, pour la poudre 39.

L'addition d'un excès d'eau de chaux filtrée a donné ensuite des précipités qui, lavés, séchés et pesés, ont été trouvés de :

0^{g},1868 pour la poudre		22 ;
0^{g},3765	id.	32 ;
0^{g},443	id.	39.

(1) Le carbonate de chaux entraîne, en se précipitant, toute la matière colorante du tournesol : c'est pour plus d'exactitude qu'on en prend toujours le même volume.

Ces poids correspondant à 120^{cc} des liqueurs, doivent être multipliés par 10 (1), si l'on veut comparer les poids totaux de l'acide carbonique allié à la potasse.

Mais sans faire même ce calcul, on voit bien qu'il s'est formé plus d'acide carbonique dans la combustion de la poudre 39 que dans celle de la poudre 22, et même de la poudre 32.

Sulfure de potassium. — Il ne nous reste plus qu'à déterminer ce qui s'est formé dans chaque cas de sulfure de potassium.

Nous avons repris l'oxyde de cuivre, mélangé de sulfure et resté sur les filtres; nous l'avons traité par l'acide azotique fumant (2), de manière à oxy-

(1) Toutes les liqueurs ont été ramenées au volume de 1200^{cc}.

(2) Dans une première série d'expériences, on avait employé peut-être un trop grand excès d'oxyde de cuivre pour transformer le sulfure de potassium en sulfure de cuivre, mais surtout on s'était servi d'acide azotique trop faible pour faire passer le sulfure de cuivre à l'état de sulfate.

Quoique les réactions eussent été très-vives, l'acide azotique ne s'était adressé qu'à l'oxyde de cuivre ou au cuivre uni au soufre; ce dernier corps, mis en liberté, s'était aggloméré et formait des globules de forme sphérique quand ils avaient de petites dimensions, ou bien vides à l'intérieur et boursouflés irrégulièrement quand ils étaient plus gros.

der le soufre au maximum ; puis nous avons, comme ci-dessus, précipité cet acide sulfurique par le nitrate de baryte.

Nous avons pesé successivement ainsi :

5g,291 de sulfate de baryte, pour la poudre 22 :

2g,904 pour la poudre 32 ;

0g,852 id. 39,

ce qui correspond à

0g,7299, 0g,4006, 0g,1175

de soufre. Ce soufre est celui qui s'est transformé

On a pu recueillir avec une pince, dans la liqueur provenant de la poudre 22, quatre de ces globules irréguliers ayant 2mm,50 de diamètre environ ; deux de 2mm ; deux de 1mm à 1mm,50, et quarante autres plus petits. Leur poids total a été trouvé de 0g,062.

La poudre 32 a fourni trois globules de soufre de 1mm environ ; six d'un demi-millimètre ; et une douzaine d'autres de plus petits diamètres : poids total, 0g,018.

Avec la poudre 39, on n'a eu affaire qu'à une trentaine de très-petites boules de soufre, dont pas une seule n'avait un demi-millimètre de diamètre et qui, ensemble, ne pesaient pas tout à fait 0g,012.

Cette première analyse, quoiqu'elle n'ait pas été régulièrement conduite, parce qu'on n'avait pas sous la main d'acide azotique assez concentré, a démontré bien clairement cependant, et d'une manière bien intéressante, que la poudre 22 produisait, en brûlant, plus de sulfure de potassium que les autres.

en sulfure de potassium pendant la déflagration des poudres : c'est donc la poudre 22 qui a produit la quantité de sulfure de beaucoup la plus grande, et cela est toujours bien conforme aux conséquences déduites des considérations théoriques précédemment exposées.

Si l'on veut, en finissant, se rendre compte de la manière dont les 2g,50 de soufre et les 2g,50 de charbon contenus dans les échantillons de 20 grammes de poudres soumis aux expériences, se sont répartis, à très-peu près, entre les divers composés formés, pour chacune des trois poudres, on peut consulter le tableau suivant qui résume tous les résultats obtenus :

	POUDRES avec charbon au rendement de		
	22 %.	32 %.	39 %.
Soufre non comburé et resté dans les résidus solides	0g,2135	0g,107	0 ,1585
Soufre combiné avec le potassium	0,7299	0,4006	0,1175
Soufre passé à l'état d'acide sulfhydrique (et de sulfure)	0,146	0,139	0,051
Soufre entrant dans le sulfate de potasse formé	1,0104	1,8360	2,1728
Soufre existant à l'état d'hyposulfite, ou bien formant d'autres corps qu'on n'a point recherchés, pertes, etc., (chiffres obtenus par différence)	0,4002	0,0174	0,0002
Totaux	2g,50	2g,50	2g,50
Carbone non comburé resté dans les résidus solides	0g,8340	0,5430	0g,4019
Carbone passé à l'état d'acide carbonique gazeux	1,2910	1,4750	1,5658
Carbone passé à l'état d'acide carbonique et combiné avec la potasse	0,2440	0,4516	0,5310
Carbone formant de l'oxyde de carbone ou bien d'autres corps qu'on n'a point recherchés, pertes, etc. (chiffres obtenus par différence)	0,1310	0,0304	0,0013
Totaux	2g,50	2g,50	2g,50

Il n'est pas nécessaire d'insister davantage sur la concordance parfaite de ces divers résultats, qui tous, sans exception aucune, contribuent à démontrer :

Que c'est la poudre fabriquée avec le charbon,

au rendement le plus fort, qui doit toujours exercer, sur le métal des bouches à feu, l'action la plus vive et la plus destructive ;

Que la poudre réglementaire reste la moins brisante de celles que nous venons de comparer, comme on l'a reconnu, d'ailleurs, à la suite d'expériences de tir qui ont ainsi confirmé d'une manière bien heureuse les avantages des nouveaux procédés d'expérimentation qui viennent d'être présentés ;

Que cette poudre doit enfin les qualités précieuses qu'elle possède, relativement à la conservation des bouches à feu, à ce que sa puissance balistique provient d'un dégagement de gaz plus abondant et non d'une élévation plus considérable de la température de ces mêmes gaz.

L'ARITHMOMÈTRE THOMAS

Par M. L'Epervier du Quennon.

Rien ne prouve d'une manière plus éclatante le haut degré de civilisation auquel un peuple est parvenu, que l'usage des *machines*. Toute *machine* au service de l'homme est une conquête que l'esprit a faite sur la brute matière. Plus un peuple opère de la main ou de tout autre membre du corps, plus il est esclave tout à la fois physique et moral de la matière. Or, il n'y a peut-être pas d'esclavage plus pénible et plus dur que celui du calcul usuel ; nous en appelons à tous ceux qui ont dressé ou vérifié des tables de lograrithmes, de sinus, etc., à tous ceux qui ont à résoudre des problèmes compliqués de chiffres. Que d'heures, de jours, de mois, d'années se perdent en architecture militaire et civile, en artillerie, géodésie,

topographie, astronomie, physique, chimie, en calcul de répartitions, etc., etc.!

Si haut qu'on remonte dans l'histoire, on rencontre des essais de fabrication de machines à calculer, essais qui vont se renouvelant sans cesse, à mesure qu'on descend le cours des siècles.

On sait que l'invention des logarithmes est due à des recherches faites pour trouver un instrument de calcul. Dans les temps modernes, les essais historiques datent de la machine à calculer de Pascal, laquelle, pour être rebelle à la pratique, n'en a pas moins servi de précédent à toutes les tentatives qui ont été faites depuis. Après Pascal, le plus grand penseur de tous les temps passés, Leibnitz entra dans la même voie, mais sans obtenir un succès réel.

A partir de cette époque, il y eut une sorte de rivalité entre les esprits inventifs pour résoudre le problème. Babbage commença en 1821 la construction de sa célèbre machine à calculer, qui ne fut finie qu'en 1833, et qui, malgré une dépense de 425,000 francs, ne fut pas d'un usage pratique.

Peut-être, à force de perfectionnements, cette machine serait-elle devenue *pratique*, si l'inventeur,

à bout de ressources et de guerre lasse, n'eût jeté le manche après la cognée.

Cette machine, qui était fondée sur un principe juste, servit de modèle à un Suédois, M. *Scheutz*, pour construire une machine à calculer qui fut achevée il y a une dixaine d'années et dont nous allons d'abord dire quelques mots.

La machine suédoise, pas plus que celle de Babbage, n'est destinée à parfaire des calculs de toutes pièces ; elle ne sert qu'à dresser des tables où les valeurs cherchées de formules posées sont réunies pour un nombre ordonné de valeurs des grandeurs données. Elle repose sur ce principe que, *par la formation successive des différences de valeurs successives, il vient finalement des séries de nombres de rangs égaux*.

C'est ainsi, par exemple, qu'en traitant de la manière indiquée la suite des *carrés de la série naturelle des nombres*, on obtient les nombres suivants :

0	1	4	9	16	25	36	49
1	3	5	7	9	11	13...	
2	2	2	2	2	2...		

On voit que, dans ce système, la troisième série

différentielle est déjà composée de membres tous égaux.

Si, ensuite, on ajoute le premier membre de la deuxième série à un membre de la troisième série, on obtient le deuxième membre de la deuxième série ; en ajoutant le deuxième membre de la deuxième série à la différence constante, on obtient le troisième nombre de la deuxième série, et ainsi de suite. Si, de plus, on traite de la même manière la deuxième et la première série, c'est-à-dire, si l'on ajoute successivement le premier membre de la deuxième série au premier membre de la première, le deuxième membre de la deuxième série au deuxième membre de la première, et ainsi de suite, il viendra, par une *addition perpétuelle,* la série infinie complète des *carrés* de la suite naturelle des nombres.

C'est sur ce principe fondamental, qui comporte de nombreuses séries de nombres telles qu'entre autres les logarithmes—à séries peu nombreuses de différences jusqu'à la série composée de membres égaux, à laquelle correspondent des différences = 0, qu'était fondée la machine de Babbage.

Deux Suédois, MM. Scheutz, père et fils, recueillirent la succession de l'idée fondamentale de

Babbage, à la réalisation de laquelle ils sacrifièrent leurs travaux et leur fortune. Aidés par une subvention de leur gouvernement, ils menèrent leur entreprise heureusement à fin.

Les inventeurs suédois avaient en vue de construire, à l'aide de leur machine, des tables logarithmiques et astronomiques; mais, à leurs yeux, il ne suffisait pas que leur machine calculât avec justesse et sans erreur; car l'impression des tables en question, par suite de la composition typographique, devient *fautive*; il s'y glisse des erreurs qui se renouvellent sans cesse.

Les deux Suédois organisèrent donc leur machine de manière qu'elle pût *calculer* et *stéréotyper* à la fois des tables logarithmiques et astronomiques sous la forme typographique usuelle, avec pagination, lignes longitudinales, transversales, etc.

Les deux inventeurs scandinaves, dont la machine figura à la dernière Exposition universelle de Paris, réussirent au point que le *Smithsonian Institute* acheta leur machine dans le but de vulgariser et de répandre partout des tables de nombres, surtout des tables de logarithmes à bon marché. Les protecteurs des deux inventeurs avaient envoyé

sur presque tous les points de l'Europe une table de logarithmes parfaitement correcte *calculée* et *stéréotypée* par leur machine.

A peu près en même temps que MM. Scheutz construisirent leur machine fort avantageuse en elle-même, mais compliquée et dispendieuse, et, de plus, ne se prêtant qu'à l'exécution de certains calculs particuliers, — la machine n'accomplit pas les quatre opérations fondamentales de l'arithmétique, — M. Thomas (de Colmar) inventa une autre machine à calculer de sa façon. Cette machine pour laquelle l'inventeur a pris un brevet en 1820, qui s'est maintenue pendant quarante ans en concurrence avec un grand nombre d'inventions de la même espèce, exécute les quatre opérations fondamentales de l'arithmétique avec une rapidité extraordinaire.

Cette machine, dite *arithmomètre*, est fondée sur les principes théoriques suivants.

Dans la mécanique pratique, on emploie, pour compter le nombre des coups frappés par une machine (à vapeur), des tours de roue, d'hélice, d'ondulation, etc., des appareils de calcul qui exécutent la simple opération de la numération ou de l'addition.

C'est un appareil de ce genre que nous prenons

comme point de départ pour expliquer l'économie de la machine à calculer Thomas. Soit l'appareil *Desbordes*, un des plus simples que nous connaissions et composé de deux éléments (fig. 2).

Chacun de ces éléments est formé d'une roue motrice armée de dix dents qui se trouvent dirigées en sens opposé d'une roue à l'autre (fig. 1). A chaque dent motrice correspond un des premiers dix chiffres du système usuel de numération. Ces chiffres sont portés sur un disque ou cadran qui se rattache à la roue et deviennent individuellement visibles sur le cadran à travers des ouvertures rondes qui dans la figure sont ponctuées. Dans la *roue des unités* A s'engrène le loquet moteur CD, qui, à chaque mouvement ascendant et descendant du levier EF, pousse la roue d'un dixième de tour plus loin, et qui, par conséquent, fait, après chaque vibration entière du levier, paraître un nouveau chiffre au trou de vision. Si, au commencement, il se présentait 0 au trou de vision, la neuvième vibration amènera le chiffre 9, et la dixième ramènera de nouveau 0. On conçoit qu'une indication juste et précise du nombre des coups frappés (10 coups) exigerait qu'il parût 1 à l'ouverture de la roue des dizaines B; car ce serait là une manière

infaillible d'indiquer qu'il a été compté dix unités. Cette indication est effectuée par la dent G qui est solidement liée à la roue des unités. La dent en question, au moment où le chiffre 9 arrive, prend la position ponctuée dans la figure en entamant la roue des dizaines, et pousse celle-ci d'un dixième de tour plus loin, dès que A s'avance de 9 en 0. Si B était d'abord en 0, on verra apparaître 1, et ce sont les chiffres visibles aux ouvertures de vision qui indiquent d'après la manière usuelle de notation que dix coups de levier sont accomplis. Après neuf tours ultérieurs, le cadran présente le nombre 19; mais en même temps G est retourné de nouveau à la position ponctuée et met, au coup immédiatement suivant en B, le chiffre 2 en évidence, en même temps que A s'avance vers 0 et que, par conséquent, le cadran présente le nombre 20. C'est de cette manière qu'on pourra continuer de compter jusqu'à 99 : le coup immédiatement suivant donnera 00.

. . . .

Mais il est évident qu'il suffit d'ajouter un troisième élément à ceux que nous avons déjà, pour pouvoir compter jusqu'à cent inclusivement et audelà, jusqu'à neuf cent quatre-vingt-dix-neuf, à con-

dition toutefois que la transposition des dizaines se fasse toujours exactement.

Si, en outre, l'on prend encore des dispositions telles que les roues restent toujours dans leur position exacte après un calcul accompli, on voit facilement qu'avec un instrument de calcul de cette espèce on peut compter des nombres aussi élevés qu'on voudra et d'une manière correspondante à la forme actuelle du système décimal, pourvu qu'on ait soin d'allier convenablement ensemble un nombre suffisant d'éléments.

Il y a encore d'autres appareils de calcul qui conduisent aux mêmes résultats. Le point essentiel et en même temps le plus difficile, c'est de transposer exactement les dizaines.

Or, par l'établissement d'un tel appareil de calcul décimal, la création de l'arithmomètre proprement dit a déjà fait un pas immense ; il suffit d'agrandir, de développer le premier pour obtenir une véritable machine à additionner. Il y a plus : le *compteur*, tel qu'il est, pourrait servir à faire l'addition ; car il suffirait évidemment, pour ajouter un nombre à un autre nombre donné, visible dans les trous de vision et interposable, de lever et d'abaisser le levier de calcul autant de fois que

la nouvelle somme à trouver renferme d'unités.

Toutefois, il est clair que ce procédé entraînerait des longueurs impraticables. Pour en diminuer le nombre et les inconvénients, il suffirait de rendre possible, pour chaque maniement, le mouvement, non pas d'une seule dent, mais de plus d'une des dents de la roue des unités : un redoublement du coup de levier rendrait déjà possible l'addition de deux unités par chaque vibration, et, en insérant des mécanismes convenables, on réussirait aussi sans difficulté à additionner à chaque maniement à volonté les unités depuis 1 ou 0 jusqu'à neuf.

Un appareil moteur organisé de la sorte pourrait être appelé *moteur décimal*, et serait un acheminement important vers un résultat satisfaisant.

Ici on peut se demander ce qu'il y a à faire pour qu'à chaque coup il y ait addition de dix unités.

A cela nous répondons qu'on peut arriver à ce résultat par deux voies différentes :

Ou l'on fait exécuter à la roue des unités, pour chaque coup de levier, un tour entier et complet, et, dans ce cas, partant de 0, il reparaîtra 0 en A, mais en B il paraîtra 1 par transposition des dizaines, c'est-à-dire qu'en somme il paraîtra 10 ; ou bien, laissant 0 à sa place en A, on ne pousse

B que de $^1/_{10}$, c'est-à-dire d'une dent, et, dans ce second cas, on obtient, par un mouvement plus simple du mécanisme, ce que tout à l'heure on n'avait obtenu que par une manœuvre beaucoup plus compliquée. Si en suite on disposait aussi la roue des dizaines de manière à pouvoir, à volonté, additionner 0 unité jusqu'à 9 unités de dizaines, on pourrait ajouter d'une manière très-simple un nombre donné 10, 20, 30, 40, 50.... unités. Mais ce n'est pas tout. Qu'on fasse agir simultanément ou à courts intervalles de distance les deux moteurs de la roue des unités et de celle des dizaines, et il devient possible d'ajouter, par un seul jeu de levier, tout nombre au-dessous de 100 à un autre nombre visible dans les trous de vision. Soit à ajouter 13 à 24 ; on met d'abord la roue des unités en 4, celle des dizaines en 2, et l'on dispose les deux mécanismes moteurs de manière que, par vibration de levier, il soit poussé en avant 3 dents de la roue des unités et 1 dent de la roue des dizaines : dans ce cas, il viendra, par suite du mouvement du levier, en évidence 7 au trou de vision des unités, 3 au trou de vision des dizaines, c'est-à-dire en somme 37.

Mais ce qui peut paraître plus étrange, c'est qu'il

suffit d'augmenter le nombre des éléments de même espèce de la machine ainsi développée pour obtenir aussitôt une machine d'addition opérant avec une grande rapidité.

Nous avons déjà dit que la *transposition des dizaines* est une opération aussi importante que délicate et difficile. Nous croyons donc devoir y revenir.

Soit à ajouter 11 à 9 à l'aide de la petite machine à calculer ci-dessus à laquelle nous supposons qu'on peut appliquer le moteur dont nous avons parlé. Dans ces conditions, il faut mettre la roue des unités en 9, celle des dizaine en 0; mais pour les deux moteurs, il faut les disposer de telle manière qu'une vibration entière du levier-moteur avance d'une dent chacune des roues. Or, si l'on réfléchit qu'à la position de la roue des unités en 9, le moteur des dizaines G est au même moment en contact avec un dent de la roue des dizaines, cette dernière, si l'on fait continuer les avancements, passe simultanément en avant de 1 dent par G et par le moteur. Du disque des dizaines il viendra donc 1, et de celui des unités il viendra 0 se présenter au trou de vision, et l'on aura 10 au lieu de 20, que l'on devrait avoir. Il s'ensuit que l'on

a obtenu le même résultat que s'il n'y avait pas eu de *transposition de dizaines*. Pour éviter cet inconvénient, il suffit de ne faire *fonctionner le moteur* de la roue des dizaines qu'après que la transposition des dizaines aura été effectuée, ou sera censée avoir déjà eu lieu ; ou, inversement, il suffit d'*opérer avant que la transposition des dizaines ait eu lieu*. Dans ce cas, — pour retourner à l'exemple ci-dessus, — il viendra 0 à la roue des unités, et il viendra en même temps 1 à la roue des dizaines ; mais ce ne sera qu'après cette double opération que commencera le mouvement en avant à la roue des dizaines et que cette roue tournera de nouveau d'une dent. C'est ainsi que 2 sera amené devant le trou de vision et que le résultat cherché 20 se mettra en évidence.

En étendant cette qualité nécessaire du moteur aux éléments qui restent encore à ajouter, on trouvera que *tous les moteurs individuels gagneront de vitesse les moteurs voisins de gauche*, condition nécessaire et suffisante à la marche régulière et infaillible de la machine à calculer telle qu'elle se trouve organisée jusqu'ici. Il va sans dire que le *devancement* exécuté par les moteurs peut être considéré, à un autre point de vue résultant des consi-

dérations précédentes, comme un mouvement de *poursuite*.

Dès lors, il est facile, étant donné le nombre nécessaire des éléments constitutifs, de faire l'additions suivante. Soit :

643701
403692
347
1098
1048838

En effet, commençant par mettre le moteur de la roue des unités en 1, celui de la roue des dizaines en 0, celui de la roue de 100 en 7, celui de la roue des 1000 en 3, celui de la roue des 10000 en 4, celui de la roue des 100000 en 6, une entière vibration du levier-moteur,— en supposant qu'il n'y ait au cadran que des zéros,—amènera d'abord la première somme partielle au cadran; si ensuite, mettant le moteur en 403692, nous mettons le levier en mouvement, nous obtiendrons au cadran la somme partielle 1047393; puis, le moteur étant mis en 347 et le levier étant mu, viendra la somme partielle 1047740 ; enfin, le moteur étant mis en

1098 et le levier étant mis en mouvement, il viendra la somme totale 1048838.

Ce qui est remarquable dans cette série de mouvements et d'opérations, c'est qu'à proprement parler il est inutile de s'occuper des sommes intermédiaires et que l'on peut impunément diriger toute son attention sur la somme principale pour la réaliser le plus rapidement possible.

Jusqu'ici nous ne nous sommes occupé que de nombres entiers. Les nombres décimaux ne font aucune difficulté, et le résultat ci-dessus serait exactement : 104,8838, si les nombres primitifs à additionner étaient :

$$\begin{array}{r} 64,3701 \\ 40,3692 \\ 0,0347 \\ 0,1098 \\ \hline 104,8838 \end{array}$$

Seulement il faut avoir soin de tenir compte de la position de la virgule au moteur, et l'on aura une addition exacte, par un procédé identique à celui que nous avons l'habitude de suivre sur le papier ou au tableau.

Nous avons donc déjà une machine d'addition

irréprochable sous le rapport de l'exactitude du résultat.

Mais cette machine, par là même qu'elle accomplit une addition quelconque, est aussi une machine de *multiplication*.

En effet, la multiplication n'étant autre chose que le multiplicande répété ou ajouté autant de fois que le multiplicateur contient d'unités, il suffira de mettre l'un des facteurs dans le moteur et de faire exécuter autant de tours que l'autre facteur renferme d'unités pour obtenir au cadran le produit cherché.

Soit à multiplier 18 par 5 : il suffit de mettre le moteur en 18 et de lui faire faire 5 tours pour obtenir $18 + 18 + 18 + 18 + 18 = 90$. Pour les fractions décimales, il suffit de tenir compte del a virgule d'après la règle connue.

On peut donc, à l'aide de la machine pourvue d'un nombre d'éléments suffisant, multiplier un nombre quelconque par un nombre quelconque.

Mais on voit que, dans le cas où le multiplicateur a un grand nombre de chiffres, le procédé en question donne lieu à un grand nombre de mouvements du moteur, ce qui entraîne une longueur

d'exécution dont la pratique ne peut s'accommoder.

Dans le calcul usuel, on a recours, pour abréger l'opération, à un artifice connu qui consiste à traiter les dizaines, les centaines, les mille, etc., comme des unités simples, c'est-à-dire à faire abstraction des zéros, sauf à reculer au produit vers la gauche, de manière que les unités de même ordre se correspondent dans la même colonne verticale. Or, dans l'usage de notre machine à calculer, le *même procédé est applicable*. A cet effet, on multiplie d'abord le multiplicande mis au moteur par les unités du multiplicateur ; on place ensuite les unités du multiplicande à la roue des dizaines, les dizaines à la roue des centaines, etc., on multiplie ensuite par le rang des dizaines du multiplicateur, etc., et l'on obtiendra le produit juste. Soit à multiplier 27 par 3.

1° Le moteur des unités est en 3 ; on meut 7 fois et on voit se présenter le nombre 21. 2° On met le moteur des unités en 0, le moteur des dizaines en 3 ; on meut 2 fois, et l'on voit paraître en haut aux dizaines 3 + 2 de plus qu'il n'y en avait déjà (2), c'est-à-dire 8, et en tout 81.

Au point de vue arithmétique, ce résultat est

forcé ; car, en transposant 3 dans les dizaines, on n'a fait que mettre 3, lequel ajouté 2 fois en montant, fait, avec 21 déjà donné, le produit 81 cherché.

On voit que par cet artifice, le nombre des *jeux* du moteur se trouve singulièrement réduit ; car, au lieu de 27 mouvements, il n'y en a eu que 7 + 2 = 9. *En général, le nombre des jeux n'est pas plus grand que la somme des chiffres du multiplicateur additionnés transversalement.*

On voit donc que la transposition du multiplicande au moteur est extrêmement avantageuse.

Mais si le nombre des chiffres à transposer est considérable, le placement qui se répète sans cesse devient laborieux, pénible.

Ce placement s'opérerait évidemment avec la plus grande simplicité, *si tout l'appareil moteur pouvait être transposé d'un disque de nombre à l'autre, de droite à gauche et en arrière.*

Or, c'est cette organisation qu'il est facile de réaliser ; par là notre appareil moteur se trouvera considérablement perfectionné et présentera des avantages pratiques très-importants.

Nous avons fait d'une simple petite machine décimale, en l'améliorant successivement et l'enri-

chissant de nouveaux éléments, une machine d'addition et de multiplication très-commode et très-adroite.

Il nous reste à en faire une machine d'un caractère opposé, une machine de *soustraction* et de *division*.

Notre machine développée au point où nous l'avons vue plus haut, au lieu de l'addition, exécutera la soustraction, si nous avons soin d'ordonner en sens inverse les dix caractères de tous les disques ; en d'autres termes, si, au lieu de la série : **0 1 2 3 4 5 6 7 8 9**, nous établissons la série : **9 8 7 6 5 4 3 2 1 0**. Il est clair que, dans ce cas, on *compte à réculons*, c'est-à-dire qu'on décompte toujours sur chaque disque autant d'unités qu'il est poussé de dents en avant à la roue motrice. On peut obtenir machinalement l'échange en question en *éconduisant* le disque de nombres séparément, sans emporter dans le même mouvement le disque moteur, et en communiquant au premier le mouvement du second par un *appareil tournant*, par le moyen duquel on peut, à volonté, tourner les disques à gauche ou à droite, les forcer à marcher de compagnie avec les roues motrices ou de se porter à leur rencontre. C'est cet appareil tournant que

nous ajouterons encore à notre machine. Grâce à ce nouvel élément, elle pourra aussi exécuter la soustraction.

En effet, si, après la conversion de l'appareil tournant effectuée, on place les disques du cadran, par exemple, en 36, le moteur des unités en 1, celui des dizaines en 0, et qu'ensuite on fasse jouer une fois le moteur, le disque des unités ira de 6 à 5; au mouvement immédiatement suivant, de 5 à 4, ensuite de 3 à 2, à 1, et au sixième mouvement, à 0. Mais 0 se trouve à la place occupée par 9 à l'addition, à laquelle, par suite du mouvement progressif d'une dent, le transposeur des dizaines remplissait sa fonction compétente. Or, c'est précisément cette opération qui se réalise aussi dans le cas qui nous occupe.

Le transposeur des dizaines pousse le disque des dizaines de 1 dent plus loin, et, au lieu de 3, il viendra ici 2, tandis que le disque des unités présentera 9, et l'on aura le reste cherché = 2, 9; en d'autres termes, la transposition des dizaines s'opère aussi en soustraction avec justesse.

Enfin, la division n'est qu'une soustraction répétée. Il suffit donc, pour diviser, de faire fonctionner la machine d'une manière analogue à la

méthode décrite, et même à l'opération exécutée sur le papier ou sur le tableau. Il est clair que le résultat ne peut être que juste.

C'est ainsi que, du simple instrument de numération qui nous a servi de point de départ, nous avons construit, en l'accroissant progressivement de nouveaux éléments, une machine capable d'exécuter les quatres opérations fondamentales de l'arithmétique.

Or, l'*arithmomètre Thomas* n'est autre chose qu'une *machine à calculer amplifiée d'après la méthode que nous avons développée jusqu'ici, un instrument de calcul décimal muni d'un moteur décimal et d'un moteur tournant.*

Après avoir posé les principes de construction, nous passons à la *forme* et à l'*usage* de l'arithmomètre.

La figure 7 représente un arithmomètre Thomas d'un nombre d'éléments moyen. Le mécanisme est logé dans une caisse de 450 millimètres de longueur, de 160 millimètres de largeur et de 70 millimètres de hauteur. Les moteurs sont situés sous AA ; les manivelles de l'appareil tournant se trouvent près de BB ; les disques de chiffres sont près de CC dans la règle MM, et près de N se trouve la

petite manivelle servant à mouvoir l'appareil moteur. Est une petite feuille d'ardoise qui sert en même temps de couvercle au réservoir, où se trouvent, entre autres, quelques virgules en ivoire pour les ficher dans les lucarnes visibles entre les disques de chiffres.

La règle de chiffres MM est transposable, ce qui permet de transposer le moteur sous les disques de chiffres.

A cet effet, il y a à l'arête postérieure (supérieure) une articulation autour de laquelle, saisissant le bouton P, on peut tourner le moteur autour de l'articulation et le soulever un peu par le devant. Cela étant fait, on peut le pousser à gauche et à droite, et le faire passer de roue motrice en roue motrice, de manière cependant qu'on ne peut mener le dernier disque de chiffres que jusque devant le dernier moteur ouvert de gauche; de même le dernier disque de chiffres de droite ne peut être conduit que jusqu'à la dernière roue motrice: ces limites de transposition suffisent pour l'exécution de tous les calculs.

De plus, il est facile de comprendre qu'il n'est pas besoin d'autant de moteurs qu'il y a de disques de chiffres; car chaque facteur est moindre que le

produit. Dans l'arithmomètre qui nous occupe, il y a douze disques de chiffres et moteurs transposables ou ouverts ; deux moteurs non transposables, qui sont nécessaires pour opérer des transpositions étendues de dizaines, se trouvent encore à gauche sous la plaque couvrante.

Si on lève librement la règle sur le devant, les disques de chiffres peuvent être facilement transposés au moyen des petits boutons déjà indiqués, de sorte que l'on peut amener, sur chacun de ces disques, un quelconque des dix caractères numériques devant la lucarne ou trou de vision. De plus, dans ce cas, on peut aussi mettre tous les disques à la fois en 0. C'est à cette fin que sert un mécanisme d'extinction (de biffement) particulier que l'on met en mouvement en tournant le bouton 0 à l'aile droite de la règle. L'insertion des moteurs individuels se fait par la transposition des boutons-indicateurs indiqués en AA. Le chiffre auquel renvoie l'indicateur, indique le nombre des dizaines d'un tour, dont tourne la roue de calcul qui se trouve chaque fois au-dessus de l'entaille afférente, lorsque le moteur fait un tour entier, c'est-à-dire lorsque la manivelle N parcourt tout un tour.

La manivelle N ne peut sortir de sa position

initiale dans laquelle nous supposons qu'elle se trouve, qu'en tournant de gauche à droite, et il faut que pour chaque tour entier elle soit tout-à-fait ramenée à la position initiale : pour trouver plus facilement cette position, on y a ménagé un *crochet d'arrêt*.

Toutes les opérations auxquelles donne lieu l'usage de la machine, se réduisent aux suivantes :

1° Insertion des disques de chiffres dans la règle M ;

2° Insertion des moteurs aux entailles A ;

3° Dépression de l'un des deux boutons BB, opération qui prépare l'addition ou la soustraction en vue ;

4° Relation de la manivelle N ;

5° Transposition de la règle M.

Nous croyons encore devoir faire quelques observations intéressantes.

Tout organe qui est inséré dans le moteur en A, est, par un tour de manivelle, amené en haut sur les disques de chiffres : ce nombre est *positif*, c'est-à-dire s'ajoute à un autre nombre, s'il y en a un, lorsqu'on déprime le bouton inférieur B ; il est *négatif*, c'est-à-dire à soustraire, lorsqu'on déprime le bouton supérieur B. C'est en cela que

consiste toute la manière dont se compte extérieurement la machine; à ce propos, il convient de remarquer que la transposition des dizaines se fait toujours d'elle-même et avec une parfaite justesse. Les boutons B ne peuvent être déprimés qu'à la position 0 de la manivelle N; quand on en abaisse l'un, l'autre se lève; dans toutes les autres positions des manivelles, les boutons se maintiennent eux-mêmes dans leurs places respectives. Dans la soustraction et la division, on peut encore utilement se servir des disques D, dont nous parlerons plus bas.

NOMS ET USAGE DES PIÈCES QUI SERVENT AUX OPÉRATIONS.

Manivelle *N*. — Moteur du mécanisme. La manivelle se trouve à l'extrémité inférieure de la machine, à droite; elle est surmontée d'un manche en ivoire, qui s'élève et se baisse; elle ne peut marcher que de gauche à droite.

Boutons *A*. — Boutons de cuivre qui glissent dans les *rainures* placées à gauche de la manivelle.

Écrire un nombre avec les boutons *A*, c'est por-

ter ces boutons en regard des chiffres qui forment ce nombre.

Boutons *B*. — Les boutons qui se trouvent à gauche des *rainures* servent à indiquer l'opération que l'on veut faire, en appuyant dessus.

Platine mobile *M*. — Partie supérieure de la machine ; elle se lève, en la prenant par l'une de ses extrémités inférieures, et glisse au dehors de la machine, de façon à pouvoir dégager les *lucarnes*, mais seulement lorsqu'elle est levée.

Lucarne *C*. — Petits trous ronds percés dans la platine supérieure ; ils sont accompagnés chacun d'un petit bouton en cuivre, qui fait mouvoir le cadran qui contient les chiffres.

Lucarnes *D*. — Petites lucarnes inférieures, placées à droite de la platine, et qui indiquent le nombre de tours de manivelles ; elles servent encore à indiquer le quotient dans la division.

Bouton *O*, pour remettre à *zéro*. — Bouton qui se trouve à l'extrémité droite de la platine mobile, tournant sur lui-même.

PRINCIPE DE LA MACHINE.

§ Ier.

Chaque tour de manivelle transporte, dans les *lucarnes*, les chiffres sur lesquels sont placés les boutons *A*, soit en plus, soit en moins, selon l'indication des boutons B.

Les retenues se font en même temps, sans qu'on ait besoin de s'en occuper, soit en augmentation, soit en diminution.

Toute la marche de la machine peut être comprise par ce seul paragraphe.

§ II.

Les opérations se font selon les règles de l'arithmétique.

Toute opération se compose (tout étant à *zéro*) :

1° De la position des boutons *A*, qui marquent le nombre soumis à l'opération ;

2° Du nombre de tours de manivelle ;

3° De la position des boutons *B* ;

4° Pour la division et la soustraction, de la pose, dans les lucarnes, du nombre sur lequel on veut opérer.

§ III. — *Pour remettre à zéro.*

On tient la platine mobile *M* levée, de la main gauche; on tourne le bouton *O* de la main droite, et on le lâche jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que des *zéros* dans les lucarnes.

§ IV. — *Pour placer un nombre dans les lucarnes de la platine.*

On glisse les boutons *A* en regard des chiffres qui forment ce nombre, de telle sorte que l'aiguille qui accompagne le bouton soit entre les deux traits qui séparent les chiffres entre eux ; les unités sur la dernière colonne à droite, les dizaines à la gauche des unités, les centaines à la gauche des dizaines et ainsi de suite.

Le bonton *B* étant à *addition*, on donne un tour de manivelle, et le nombre se trouve inscrit dans les lucarnes.

On peut encore faire paraître un nombre dans les lucarnes en tournant les boutons qui les accom-

pagnent; mais il faut avoir bien soin de tenir la platine levée.

§ V. — *Pour mettre la machine en mouvement.*

On se sert de la manivelle, qui tourne de gauche à droite. — On devra toujours faire le tour entier, et s'arrêter contre le cran qui fait point d'arrêt.

Elle ne peut tourner en sens inverse.

Si l'on avait dépassé le cran, par erreur ou inadvertance, il faudrait finir le tour commencé, puis pousser l'autre bouton *B* à l'opération contraire et faire un autre tour; on aura alors ramené les chiffres au point où ils étaient avant l'erreur.

§ VI. — *Pour indiquer l'opération que l'on veut faire.*

On se sert des boutons *B*, en appuyant hardiment sur celui qui indique l'opération que l'on veut faire.

§ VII.

Le produit des additions et des multiplications se trouve dans les lucarnes *C*, ainsi que les restants des divisions et soustractions.

Le multiplicateur et le quotient des divisions est exprimé par le nombre de tours de manivelle, et se trouve dans les lucarnes inférieures de la platine mobile.

§ VIII.

Avec les machines de 10 lucarnes, on peut multiplier 5 chiffres par 5 chiffres, ou 4 chiffres par 6 chiffres.

Avec celles de 12 lucarnes, 6 chiffres par 6 chiffres ou 7 chiffres par 5 chiffres.

Avec celles de 16 lucarnes, 8 chiffres par 8 chiffres, ou 7 chiffres par 9.

§ IX. — *Des dizaines.*

La platine mobile *M* se lève et se glisse à volonté de droite à gauche et de gauche à droite.

Chaque distance d'un cran dégage un cadran de son engrenage et l'isole de la mécanique, ce qui met les chiffres indiqués en contact avec les lucarnes postérieures qui y correspondent et permet d'opérer sur ces chiffres.

§ X. — *En chiffres décimaux.*

Une virgule portative, en ivoire, sert à indiquer

le nombre des chiffres décimaux et à les séparer du nombre entier ; elle se met dans le petit trou pratiqué entre chaque lucarne, et remplace ainsi la virgule des opérations écrites.

ADDITION.

Pour additionner. — Tout étant à *zéro*.

Appuyer sur le bouton *B* (*addition*).

Chaque tour de manivelle reproduisant, dans les lucarnes *C*, le nombre inscrit par les boutons *A*, il suffira d'écrire, l'un après l'autre, avec ces boutons, les nombres que l'on veut additionner, et de donner, à chaque nombre inscrit, un tour de manivelle. Ces nombres viendront successivement s'ajouter ensemble, et le total se trouvera dans les lucarnes.

EXEMPLE :

Pour additionner. . . .	3 0 7
avec.	7 8 5
TOTAL . .	1,0 9 2

Pousser les trois derniers boutons *A* (ceux de droite) à 307 ; donner un tour de manivelle, et ce premier nombre 307 se trouvera transporté dans les lucarnes *C*. Ramener ensuite le bouton *A* des unités de 7 à 5 ; porter le bouton des dizaines de 0 à 8, et celui des centaines de 3 à 7 on aura écrit 785 ; puis donner un tour de manivelle. Ce nombre ira s'ajouter à celui de 307, déjà porté dans les lucarnes, lesquelles présenteront alors 1092, total de 307 ajouté à 785.

Et ainsi de suite pour toutes les autres sommes.

(La suite au prochain numéro.)

Méthode pour le percement des grands tunnels.

Par M. de Tubersac.

Par suite de l'extrême développement qu'ont pris les grandes voies de communications, la question du percement de grandes chaînes de montagne, dont la hauteur ne permettrait plus de faire usage de puits verticaux, servant à multiplier les points d'attaque et à faire disparaître facilement et rapidement les déblais, a été étudiée sous tous ses aspects par le génie civil, et même par le génie militaire, qui peut être accidentellement appelé à exécuter des travaux de ce genre.

La question du percement d'épaisses chaînes de montagnes n'est pas résolue par la méthode employée au Mont-Cenis : les appareils employés jusqu'à ce jour sont plus ou moins ingénieux ; mais, en définitive, ils sont loin de répondre à l'attente des ingénieurs, comme rapidité d'exécution, commodité de manœuvre, prix de revient et d'installation.

Nous croyons donc devoir signaler une méthode nouvelle de percement, proposée par M. *Tony-*

Fontenay, ingénieur civil, ancien ingénieur en chef du chemin de fer de Saint-Rambert à Grenoble, connu de tout le monde pour l'expérience qu'il a acquise dans l'ordre des travaux dont il est question.

La méthode de M. *Tony-Fontenay* a pour objet de réduire la durée de l'exécution, en fournissant le moyen de percer simultanément, sur plusieurs points différents, les tunnels du genre de celui du Mont-Cenis.

D'après cette méthode, le travail s'effectuerait non-seulement par les deux extrémités, mais aussi à l'aide de galeries inclinées qui, au moyen de bifurcations convenablement choisies, permettraient de multiplier, en quelque sorte, à volonté, les points d'attaque.

Dans cette hypothèse justifiée par les faits, le travail ne rencontrerait pas les mêmes difficultés que lorsqu'il s'agit de creuser des puits d'une grande profondeur; car il est toujours relativement praticable et facile d'exécuter une galerie inclinée, quelque longue qu'on la suppose.

D'un autre côté, il est facile de se rendre compte de la différence de position de l'ouvrier, qui travaille au fond d'un puits vertical de plusieurs cen-

taines de mètres de profondeur, ou de celui qui opère dans une galerie inclinée.

Placé au fond du puits, il n'est jamais en sécurité; un éboulement, un fragment qui se détache et qui tombe d'une grande hauteur, une bévue, une maladresse des hommes placés au jour, etc. sont autant d'accidents qui peuvent, à chaque instant, lui devenir fatals. D'ailleurs, il suffit d'une très-faible quantité d'eau pour couvrir le fond du puits ; le travail de forage s'effectue, de fait, presque toujours dans l'eau et au milieu d'un encombrement de déblais boueux.

D'un autre côté, l'ouvrier ne peut faire partir une mine, ni sortir, ni rentrer tout seul et sans secours ; il peut à peine faire un mouvement sans l'aide des hommes placés à l'extérieur. Il en résulte une suspension forcée du travail, toutes les fois qu'on est obligé de consolider une partie quelconque du puits, ou de poser un étai. De là ralentissement fâcheux des progrès du travail, ralentissement qui s'accroît au fur et à mesure de l'approfondissement.

Il en est tout autrement de l'emploi de la galerie inclinée. Ici le travail s'effectue dans toute sa

longueur avec un degré d'avancement à *peu près* constant.

Les eaux se réunissent au pied du front d'attaque où elles sont épuisées et ne gênent aucunement le travail du mineur; les travaux de consolidation et d'installation d'appareils dans toute la longueur de la galerie n'entravent pas davantage le travail du forage. La sécurité de l'ouvrier est parfaite; une mine vient-elle à partir, il peut, à son gré, s'éloigner et se rapprocher; il peut avec la plus grande facilité, sortir de la galerie et y rentrer sans le secours de personne; il n'a point à redouter la chute des corps qui peuvent accidentellement tomber; il lui suffit, pour s'en préserver, de maintenir derrière lui un cavalier de décombres convenablement disposé; en un mot, il travaille dans une galerie d'une inclinaison *moyenne* à peu près aussi commodément, aussi sûrement et rapidement que dans une galerie horizontale.

Le croquis *ci-dessus* représente la méthode de M. Tony-Fontenay, en la supposant appliquée à la construction d'un tunnel de 11 kilomètres passant à 1,900 mètres au-dessous de la crête d'une chaîne de montagnes. La masse est d'abord attaquée par les deux extrémités, et par les galeries inclinées

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8. Au fur et à mesure de l'avancement de ces premières galeries, on creuse les galeries secondaires 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, inclinées en sens inverse des premières.

Observons que les galeries 12, 15 et 18 peuvent elles-mêmes être remplacées par les galeries plus courtes 12 bis, 15 bis et 18 bis.

Toutes ces galeries, du moment qu'elles ont atteint la profondeur du tunnel, présentent chacune deux points d'attaque, soit en totalité 50 points, y compris les deux ateliers placés aux extrémités du tunnel. Il est facile de comprendre qu'on pourrait augmenter sans difficulté le nombre de ces points d'attaque, en creusant quelques galeries secondaires de plus ; chacune de celles-ci pourrait notamment présenter une bifurcation analogue à celles qui sont formées par les galeries 12 bis, 15 bis et 18 bis.

Les moyens ordinaires suffisent pour l'exécution des galeries ; toutefois, il serait préférable, surtout pour les grandes, de se servir des moyens analogues à ceux qui sont employés au Mont-Cenis.

Dans les galeries inclinées, les transports doi-

vent se faire sur des voies ferrées, à l'aide des machines fixes. Après l'achèvement des travaux, on pourrait en conserver quelques-unes définitivement pour la ventilation du tunnel.

M. Tony-Fontenay vient de proposer au gouvernement italien de se charger de l'exécution à forfait de 5 kilomètres du tunnel du Mont-Cenis. On sait qu'il reste encore aujourd'hui 10 kilomètres à percer pour terminer ce gigantesque travail. L'ingénieur français se chargerait des 5 kilomètres situés au centre et s'engagerait à les parfaire en même temps que les 2,500 mètres placés à chaque extrémité, lesquels continueraient à être exécutés d'après les procédés usités. Les 5 kilomètres du centre seraient attaqués au moyen de 4 grandes galeries inclinées, à plusieurs bifurcations et disposées comme l'indique le croquis.

Nouvelles propriétés du soufre.

Par M. de Morhange.

M. Dietzenbacher a fait dernièrement part à l'Académie des sciences de la découverte qu'il a faite, de quelques nouvelles propriétés du soufre,

découvertes qui sont très-curieuses au point de vue de la science et qui paraissent appelées à présenter de précieuses applications dans l'industrie militaire et civile.

Une petite quantité d'iode, de brôme ou de chlore, modifie les propriétés physiques et chimiques du soufre d'une manière remarquable. A l'aide de ces agents, le soufre devient malléable à la température ordinaire, tout en se conservant pendant longtemps sous cette forme.

De plus, il se transforme, en partie ou même complètement, dans cette curieuse modification, découverte par M. Ch. Sainte-Claire Deville, qui l'a appelée *soufre insoluble*.

1° En chauffant à 180° environ un mélange de 400 parties de soufre et de 1 partie d'iode, on produit, par le refroidissement, un soufre qui, pendant un temps assez long, reste élastique.

On l'obtient sous forme de lames flexibles en le coulant sur une plaque de verre ou de porcelaine. Cette propriété se révèle même avec une proportion d'iode beaucoup plus faible; l'iodure de potassium produit le même effet que l'iode.

Le soufre ainsi traité par l'iode devient inso–

luble dans le sulfure de carbone; la liqueur se colore en violet.

2° L'action du brôme sur le soufre présente de l'analogie avec celle de l'iode; seulement, au lieu d'un soufre coloré en noir et doué d'un éclat métallique, on obtient un soufre couleur de cire jaune qui est beaucoup plus mou que le précédent et dont l'état est persistant.

Il suffit de 1/100 de brôme et d'une chaleur de 200° environ pour obtenir cette modification. Ce soufre est composé de 75 à 80 p. 100 parties de soufre insoluble dans le sulfure de carbone.

3° En faisant passer un courant de chlore sur du soufre porté à 240° environ, on obtient une sorte de soufre mou qui s'étire très-facilement et dont on peut souder les fragments les uns aux autres. Il se comporte avec le sulfure de carbone de la même manière que le soufre traité par le brôme. Cependant, lorsqu'il est fraîchement préparé, le soufre modifié par le chlore cède environ 10 p. 100 de plus que l'autre matière soluble au sulfure de carbone.

Après avoir été malaxé pendant plusieurs heures, ce soufre durcit subitement et devient complètement insoluble dans le sulfure de carbone.

M. Sainte-Claire Deville, qui a présenté à l'Académie la note de M. Dietzenbacher, ajoute que ces faits peuvent servir à expliquer quelques détails de la fabrication du caoutchouc vulcanisé par le soufre et le chlorure de soufre.

Sur la détermination du soufre et du phosphore contenus dans le fer brut (en gueuse), et dans l'acier,

Par M. de Morhange.

L'analyse du fer brut et de l'acier est compliquée de difficultés qui ne consistent pas, comme on pourrait être tenté de le supposer, dans le *mode* proprement dit de détermination du soufre et du phosphore, mais qui dérivent de la lenteur avec laquelle le métal se dissout dans les milieux de dissolution dont on dispose, et des pertes que cette opération peut entraîner ; car on sait que le soufre et le phosphore ont une tendance très-prononcée à se combiner avec l'hydrogène pour former des combinaisons gréiformes.

Les traités de chimie enseignent que, pour faciliter la dissolution du fer brut ou de l'acier, il

faut d'abord convertir le métal en poudre fine, soit à l'aide de la lime, soit en le pulvérisant dans un mortier d'acier, ce qui donne lieu à un travail aussi long que pénible et fatigant; de plus, ce travail de trituration ou de pulvérisation a encore l'inconvénient de faire tomber dans la poudre qu'il s'agit d'analyser, des particules matérielles qui se dégagent de l'instrument pulvérisant, lime ou mortier. C'est pour cette raison que l'on n'emploie en général à l'analyse que de très-petites quantités de matière, soit quelques décigrammes, proportion qui, dans un grand nombre de cas, est insuffisante.

M. J. Nulès avait à rechercher en 1862 différents échantillons de fer brut provenant d'une forge importante de Lorraine; il trouva que le métal était dégagé de soufre, mais qu'il contenait beaucoup de phosphore.

Pour neutraliser les sources d'erreur que nous avons mentionnées plus haut, il s'appliqua à chercher un moyen de dissolution assez puissant pour opérer la dissolution de fer en morceaux pesant plusieurs grammes, — ayant soin de prévenir tout dégagement de gaz, — et pour faire passer en même temps le soufre et le phosphore à leur

degré d'oxydation le plus constant, c'est-à-dire à l'état d'acide sulfurique et d'acide phosphorique.

On arrive à ce tout pas l'emploi du brôme pur avec addition d'eau distillée : il ne faut y ajouter du brôme qu'en petites portions, parce que le liquide commence par s'échauffer. La réaction a lieu sans qu'il soit nécessaire de chauffer ; il convient cependant de chauffer un peu pour mettre fin à cette réaction. De plus, il faut secouer le mélange à plusieurs reprises, pour dégager du noyau de métal la couche de graphile qui le couvre, et qui, s'interposant entre le fer et le noyau de dissolution, retarde l'effet de ce dernier.

Un morceau pesant 15 grammes de fer brut soufflé avec du coke et contenant 6 0/0 de graphite fut dissout en moins de 40 heures, sans qu'il fût besoin de faire autre chose que de secouer cinq à six fois.

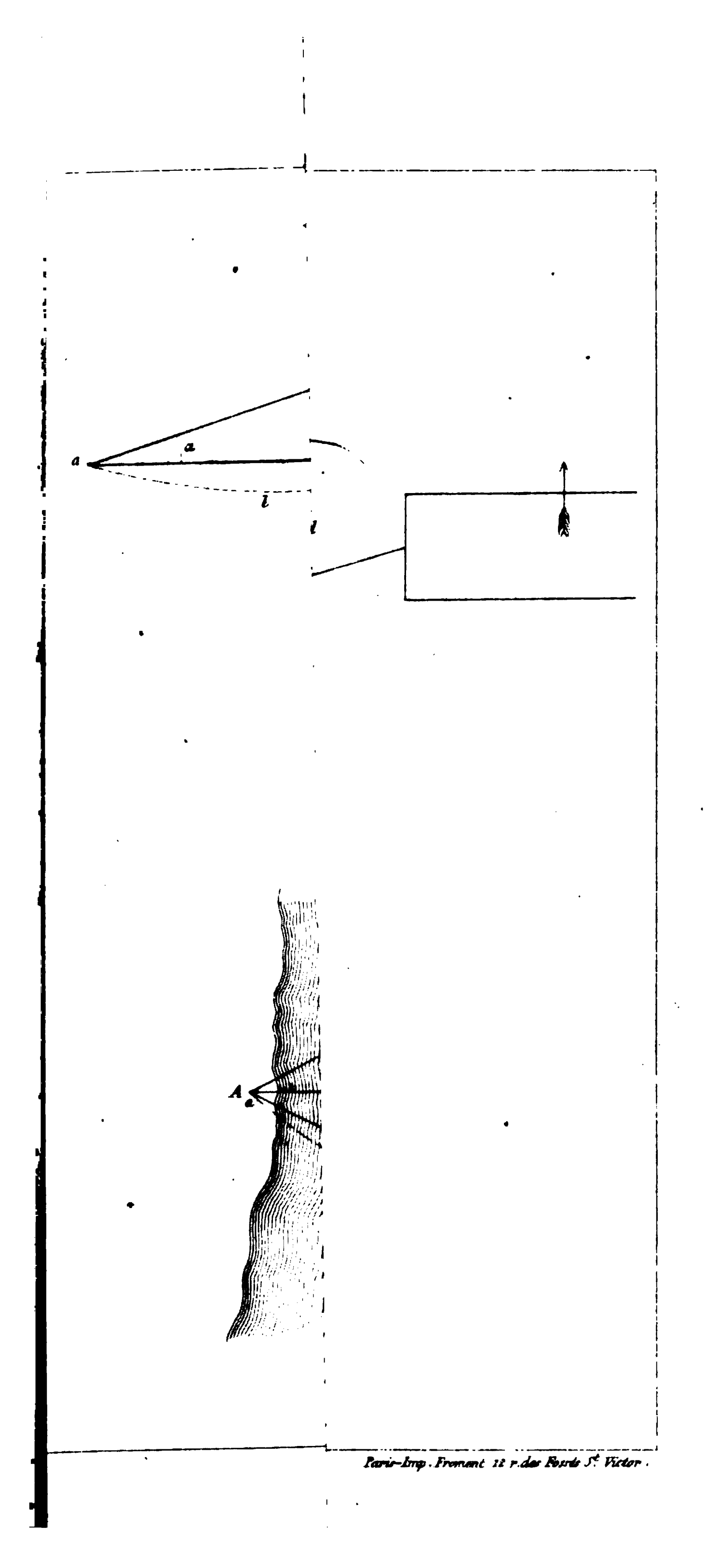
Le brôme était assez abondant pour former du brômide de fer.

Si l'on veut déterminer le fer en même temps que le soufre et le phosphore, on emploie , soit la litration soit l'analyse de poids.

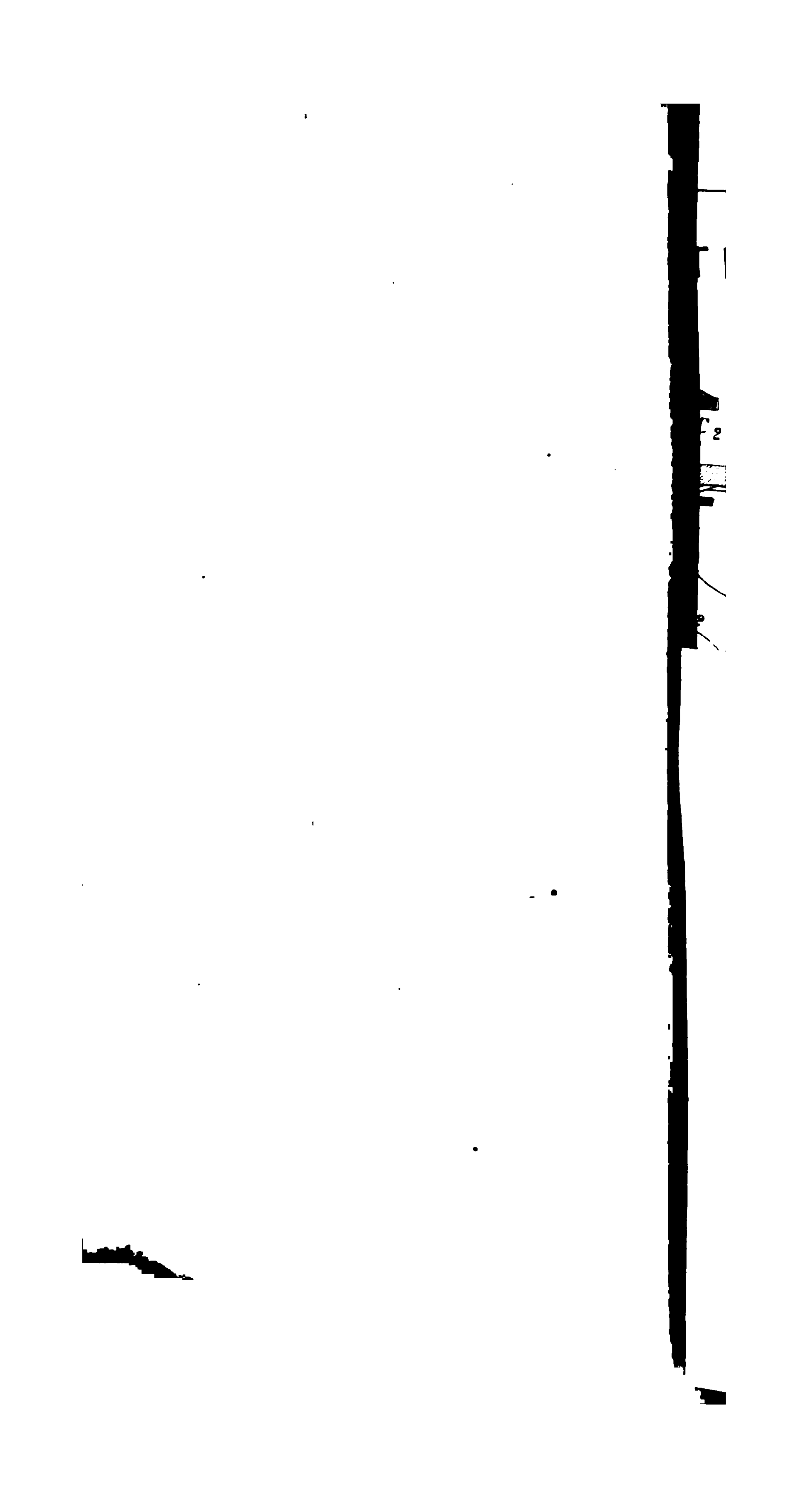
M. Nicklès pratique l'analyse, en particulier la détermination du phosphore, de manière à ajou-

ter à la solution du brômide de fer de l'acide tartrique et de l'ammoniaque en profusion, à y joindre ensuite de la magnésie sulfatée et une certaine quantité d'alcool, à le secouer et à le laisser ensuite reposer une nuit. L'addition de l'alcool favorise la précipitation de l'ammoniaque, terre muriatique acide phosphorique et opère la séparation d'avec la solution de sel où il se forme et se dissout. Si l'on ajoute à la matière filtrée quelques gouttes d'alcool du précipité formé sans alcool, il en résulte une altération de clarté qui disparaît par le secouement. On doit donc continuer d'ajouter jusqu'à ce le *trouble* commence à se montrer permanent, et avoir soin à ne pas dépasser ce moment, pour ne pas donner lieu à la précipitation d'autres substances. Le soufre se précipite à la manière ordinaire comme baryte sulfaté.

Impr. de E. Dépée, à Sceaux.



Paris-Imp. Froment 12 r. des Fossés St Victor.



TRE TH

Fig. 2.

C_2

1.

RECHERCHES

SUR

L'ORGANISATION DU CORPS DU GÉNIE

EN BAVIÈRE,

Par C. HEYDT, capitaine du génie.

Parmi les puissances militaires du second ordre, la Bavière occupe une des premières places. Pour l'organisation de son armée, cette puissance a adopté les principes qui constituent l'armée autrichienne, mais elle a emprunté à la Prusse une partie des idées qui ont présidé à la création de la landwehr. L'esprit militaire est très-développé dans l'armée bavaroise et quelques-unes des provinces, la haute et la basse Bavière ainsi que le haut Palatinat, lui fournissent d'excellents soldats. Dans ces dernières années le gouvernement bavarois a complètement réorganisé les écoles militaires et a beaucoup amélioré les moyens d'instruction pour l'armée. Ces sages me-

sures ont puissamment contribué à diminuer les priviléges accordés aux fils des nobles et des hauts fonctionnaires d'entrer directement dans les écoles militaires et ont fait une part plus large au mérite.

L'armée bavaroise comprend actuellement :

Infanterie :	16 régiments à 3 bataillons. . .	70,000 h.
	6 bataillons de chasseurs.	5,880
Cavalerie :	2 régiments de cuirassiers. . . .	10,280
	6 régiments de chevaux-légers.	
Artillerie :	3 régiments à pied à 12 batteries.	14,400
	1 régiment à cheval de 4 batteries.	
	Train des équipages.	
Génie :	1 régiment à 8 compagnies.	2,600
	Une compagnie d'ouvriers.	280
	3 compagnies d'infirmiers.	880
	2 id de garnison.	1,280
	9 id. de gendarmes. . . .	

A cet effectif il faut ajouter une réserve qui comprend un nombre d'hommes à peu près égal à celui qui est sous les armes et qui porte l'armée bavaroise à 185,000 hommes sur pied de guerre.

La Bavière fournit le 7e corps de l'armée de la Confédération germanique ; son contingent, primitivement de 35,600 hommes, peut-être évalué actuellement à 59,000 combattants. Deux pla-

ces fédérales Landau et la tête de pont d'Ulm (Neu-Ulm) se trouvent sur territoire bavarois. Landau est exclusivement occupé en temps de paix par des troupes bavaroises ; le gouverneur et le commandant de la forteresse sont toujours choisis parmi les officiers de cette armée. Sur pied de guerre, la garnison de Landau a été fixée par la Confédération à 7,000 hommes et 200 chevaux ; la division d'infanterie de réserve de l'armée confédérée en fournit 2,290 combattants. En temps de paix, la forteresse d'Ulm est occupée par des troupes bavaroises et wurtembergeoises et par 300 hommes de l'armée autrichienne ; mais sur pied de guerre la garnison de cette place est portée à 20,000 hommes ; l'Autriche, la Bavière et le Wurtemberg fournissent chacune le tiers de cet effectif. Le gouverneur d'Ulm est nommé d'une manière permanente par le Wurtemberg et le commandant de place est désigné par la Bavière ; le service de la direction du génie est fait pendant cinq ans et à tour de rôle par le Wurtemberg et par la Bavière, mais à l'Autriche est exclusivement réservé le service de la direction d'artillerie de cette place fédérale.

Sous le rapport militaire, la Bavière est parta-

gée en quatre commandements généraux (*General-Commandos*) dont les états-majors résident à Munich, à Augsbourg, à Nuremberg et à Wurtzbourg. Chacun de ces commandements comprend une des quatre divisions d'infanterie de l'armée. La division se compose de : 2 brigades de 2 régiments d'infanterie et d'un bataillon de chasseurs, d'une brigade de cavalerie formée de 2 régiments, d'une direction du génie, d'une compagnie sanitaire et d'un détachement de compagnie de garnison.

CORPS DU GÉNIE.

A l'époque de la guerre de Trente-Ans, on trouve déjà des ingénieurs dans l'électorat de Bavière, mais ils n'avaient pas alors d'organisation régulière et ce n'est qu'en 1744 qu'ils furent réunis en corps ; quant à la création des directions de construction elle remonte a 1790. Les sapeurs et les mineurs primitivement placés sous l'administration du service de l'artillerie, furent réunis au corps des ingénieurs en 1826. Au mois de janvier 1857 ce corps reçut une nouvelle organisation et prit la denomination de *corps du génie*.

Le corps du génie bavarois est placé sous l'au-

torité supérieure du commandement du corps (*Génie-Corps-Commando*), composé d'un officier général de l'armée et, sous ses ordres, d'un chef de bataillon du génie et d'un quartier-maître. Tout ce qui se rapporte au personnel du génie rentre dans les attributions du commandant en chef du corps qui a en même temps la haute direction de tous les travaux militaires du royaume et spécialement de ceux qui s'exécutent dans les places fortes. Le commandant supérieur est en outre chargé d'examiner : 1° les projets des dépenses annuelles pour les réparations majeures à faire aux bâtiments militaires ; 2° les modifications proposées pour les bâtiments dans les villes de garnison non fortifiées ; 3° les dépenses annuelles pour les constructions qui se rapportent aux places fortes. Ces projets avec devis sont adressés au commandant supérieur du génie par les commandants territoriaux ; ceux-ci les font élaborer par les officiers du génie placés sous les ordres de commissions locales de construction, mais les soumettent avant leur envoi à l'examen des directeurs du génie. L'examen du commandant supérieur du génie s'étend à toutes les affaires concernant le service proprement dit, ainsi qu'à celles

qui ont des rapports avec les services de l'artillerie, de l'administration et de la justice militaire.

Sous les ordres du commandant supérieur du corps du génie, et pour lui servir d'auxiliaire, est placé le comité (*Génie-Berathung's-Commission*). Le personnel du comité comprend : un colonel, un commandant et deux capitaines, tous choisis parmi les officiers du génie. Les fonctions du comité consistent à donner des avis motivés sur toutes les questions qui sont relatives à l'organisation, au service et aux travaux pratiques du corps et des troupes du génie ; il élabore les instructions et les règlements qui concernent l'arme et fait des rapports sur des projets de construction, sur l'armement et l'équipement des troupes du génie, sur les découvertes et inventions qui peuvent offrir de l'intérêt pour le service, si toutefois le régiment du génie n'a pas été chargé de faire des expériences à ce sujet. Les questions que le ministre de la guerre peut soumettre à l'examen du commandant supérieur du génie sont également élaborées par le comité.

Le corps du génie bavarois comprend : un état-major d'officiers et un régiment du génie ; voici quel en est actuellement l'effectif :

Colonels.	5
Lieutenants-colonels. .	8
Majors.	32
Capitaines.	32
Lieutenants.	32
Sous-lieutenants. . . .	36
Total. .	145

Pour l'organisation du service, on a créé une direction du génie dans chacun des 4 grands commandements territoriaux; on a établi en outre une direction locale du génie (*Local-Génie-Direction*) dans chacune des places fortes dont les commandants sont placés sous l'autorité immédiate du ministre de la guerre. Voici les noms de ces directions :

1re direction du génie à Munich.
2e id. à Augsbourg.
3e id. à Nuremberg.
4e id. à Wurtzbourg.

Direction du génie de la forteresse fédérale Landau.

1re direction locale du génie à Germersheim.
2e id. à Ingolstadt.
2e id. à Marienberg.
4e id. à Neu-Ulm.

Les directeurs, officiers supérieurs de l'état-major de génie, sont chargés du service de toutes les constructions militaires comprises dans la circonscription des commandements territoriaux, tandis que les directions locales du génie n'ont dans leurs attributions que les constructions spéciales à la place forte dont elles font partie. Pour les menues réparations et modifications à faire aux bâtiments militaires placés dans son arrondissement, chaque commandant territorial reçoit du ministre de la guerre un fonds annuel d'entretien. Le directeur fait exécuter les travaux par les officiers du génie placés sous ses ordres et par les officiers faisant fonctions d'officiers du génie (*Functionnirende-Platz-Génie-Offiziere*). Quand il s'agit de modifications majeures et de constructions nouvelles, les projets doivent avoir été autorisés par le ministre de la guerre; ils sont ensuite élaborés par les officiers du génie et le commandant supérieur du génie les soumet au ministre, avec plans et devis à l'appui.

Pour l'entretien des ouvrages de fortification et des bâtiments militaires dans les places fortes, les directions locales du génie dressent annuellement des états de dépenses que les commandants

des forteresses font parvenir au ministre de la guerre par la voie du commandant supérieur du génie (1). Ces états de dépenses comprennent également les modifications à faire aux constructions.

Les attributions du génie en Bavière comprennent la construction et la réparation des fortifications et des bâtiments militaires, y compris les bâtiments du service de l'artillerie. Cependant pour les projets de ces derniers, les directions locales et le commandant supérieur du génie doivent conférer respectivement avec les directions d'artillerie et avec le commandant supérieur de ce service. Il n'y a que les dispositions intérieures tout à fait spéciales au service de l'artillerie qui sont exécutées par ce corps.

Dans les places fortes, l'entretien du caserne-

(1) Le budgt annuel du génie en Bavière comprend pour le personnel et le matériel une somme moyenne de 1,022,500 fr. ainsi répartie :

Etat-major.	170,730 fr.
Régiment	326,760
Construction	525,000
Total. . . .	1,022,490 fr.

ment se fait par les soins des directions locales ; il est confié à des officiers du génie dans les grandes villes de garnison non fortifiées, mais dans les petites localités on en charge des officiers pris dans les corps qui y tiennent garnison. Ces travaux de réparation et d'entretien se font sous l'autorité des commandants de garnisons à cet effet assistés d'une commission spéciale (*Local-Bau-Commission*). Les officiers du génie, pour le service du casernement, sont aidés par les gardes du génie (*Genie-Warten*) dont l'effectif est de 33 ; dans les petites villes, des caserniers sont mis à la disposition des officiers faisant fonctions d'officiers du génie.

Pour la construction des nouvelles casernes, les ingénieurs bavarois ont adopté des chambres d'une contenance de 15 hommes ; elles ont généralement 10^m de l'argeur sur 3^m 80 de hauteur ; la capacité en est calculée à raison de 15 mètres cubes d'air par homme. Dans les écuries nouvelles, on compte 1^m 70 de largeur par cheval. Le casernement en Bavière est établi dans de très-bonnes conditions et l'on trouve dans les grandes villes des casernes construites avec beaucoup de goût.

Les provinces de la Bavière rhénane sont encore

placées sous l'empire de l'ancienne législation française ; on a donc conservé aux fortifications de ces provinces les servitudes défensives telles quelles ont été décrétées sous Napoléon I[er]. Quant aux autres places fortes du royaume, on leur a appliqué deux zônes de servitudes respectivement de 525[m] et de 1050[m] de largeur comptés à partir du pied du glacis.

TROUPES DU GÉNIE.

En 1826 il y avait dans l'armée bavaroise une compagnie de mineurs et deux compagnies de sapeurs. Antérieurement placées sous l'administration du service de l'artillerie, ces compagnies furent réunies à cette époque au corps des ingénieurs. Les pontonniers continuèrent à faire partie de l'artillerie jusqu'en 1844 ; alors on forma un seul bataillon avec les mineurs, sapeurs, pionniers et pontonniers. L'effectif de cette troupe fut considérablement augmenté en 1848 et le bataillon fut transformé en régiment du génie.

Le régiment du génie comprend actuellement 8 compagnies, dont 4 sont dites compagnies de campagne. (*Feld-Génie-Compagnie*), et les 4 autres

sont appelées compagnies de siége (*Festungs-Génie-Compagnie*).

L'état-major du régiment comprend :

1 colonel.

2 lieutenants-colonels.

2 majors.

2 adjudants (lieut. ou s.-lieut.).

L'effectif d'une compagnie est de :

Capitaine	1
Lieutenant	2
Sous-lieutenant	2
Total	5
Maîtres-ouvriers	4
Sous-officiers	15
Caporaux	24
Soldats de 1re classe	36
Id. de 2e classe	90
Trompettes	3
Total	172

Les compagnies du génie dites de campagne, sont spécialement exercées au service du pionnier et du pontonnier, tandis que les compagnies de siége se livrent exclusivement aux travaux du mineur et du sapeur. C'est donc par ces fonc-

tions distinctes et par le mode de recrutement, qui consiste à y répartir les recrues d'après leurs connaissances professionnelles, que se distinguent entre elles les compagnies du génie. Par la subdivision du régiment en troupes de siége et en troupes de campagne, les Bavarois ont reproduit pour le génie l'organisation qu'ils ont donnée à leur artillerie. L'artillerie de campagne diffère de celle de siége par l'emploi d'un matériel que la première traîne à sa suite, tandis que l'autre le reçoit ou du parc qui accompagne l'armée, ou de la place qu'elle est chargée de défendre; pour toutes deux le service des bouches à feu forme la base des attributions, mais l'instruction spéciale de ces troupes présente les plus grandes analogies. En est-il de même des troupes du génie? Les compagnies de campagne attachées au corps d'armée peuvent être appelées à démolir rapidement une tour, un château, un fort, une écluse d'inondation, à creneler et à mettre en état de défense un village ou à cheminer à la sape dans les maisons d'un village qu'on attaque, à faire quelques travaux d'approche, etc. Pour tous ces travaux, les troupes du génie ne doivent-elles pas avoir été exercées aussi bien aux travaux du sapeur et du mineur qu'à ceux

de ces écoles commencent au mois de novembre et se terminent au mois de février par des examens auxquels assistent le colonel et tous les officiers du régiment. Un des lieutenants-colonels du régiment est chargé de la direction des écoles et est responsable envers le colonel de tout ce qui concerne l'instruction théorique et pratique des compagnies.

Dans les écoles de soldats on consacre 15 heures par semaine à l'enseignement, qui comprend : la lecture, l'orthographe, la calligraphie, les éléments d'arithmétique, les théories de l'exercice, la théorie des travaux pour les compagnies de guerre (service du pionnier et du pontonnier), et la théorie pour les compagnies de siége (service du pionnier, du sapeur et du mineur). L'enseignement dans les écoles de sous-officiers comporte : la grammaire allemande, la calligraphie et le dessin, les mathématiques élémentaires, la théorie des manœuvres, le service du génie ; on consacre à cette instruction 33 heures par semaine. Des sous-officiers sont chargés de l'enseignement dans les écoles de soldats, mais pour les écoles de sous-officiers, les cours sont faits par les officiers. Le colonel peut

réunir les sous-officiers de plusieurs compagnies pour leur faire suivre des cours spéciaux.

Une école secondaire du génie (*Die niedere-Geniè Schule*) est destinée à développer l'instruction des sous-officiers qui possédant déjà quelques connaissances et montrant des aptitudes particulières, désirent arriver à la position de dessinateur dans une direction ou de garde du génie. L'enseignement à cette école est fait par un officier spécialement attaché à ces fonctions par le colonel du régiment et comprend outre les matières enseignées dans les écoles des sous-officiers, les parties suivantes : le levers, la fortification de campagne et la fortification permanente, l'art de construire et la technologie. On consacre par semaine 48 heures à cet enseignement; les élèves sont dispensés d'une partie du service régimentaire. L'instruction théorique telle qu'elle est enseignée au régiment doit-être suivie, autant que les circonstances le permettent, par les compagnies détachées (1).

Le commandant supérieur du corps du génie

(1) Ordinairement il y a une compagnie du génie détachée dans chacune des places de Landau et de Germershein; il n'y a qu'un détachement de ces troupes à Ulm.

inspecte tous les ans le régiment du génie, tant au point de vue du service spécial qu'au point de vue administratif; tous les deux ans il passe l'inspection des directions et des directions locales du génie ainsi que des troupes détachées de l'arme. L'inspection s'étend à tout ce qui se rapporte aux archives, au cadastre et à la collection de plans, à l'état des fortifications et des bâtiments militaires, à la conservation et à l'affermage du terrain militaire, aux projets de construction ou de modifications des bâtiments existants.

L'uniforme du génie bavarois comprend : une tunique et un pantalon bleu-foncé avec collet et parements en drap noir, passe-poils écarlates, boutons blancs, contre-épaulettes avec écailles métalliques, casque avec chenille rouge. Les sapeurs bavarois n'ont pas d'outils portatifs, mais ils portent des courroies de charge qui permettent d'y suspendre des outils pour s'en servir en cas d'urgence. Chaque équipage de pionnier a des porte-outils pour 8 haches et scies, 4 masses, 60 pelles et 12 étuis à outils.

L'armée bavaroise se recrute par voie de conscription parmi les jeunes gens âgés de 21 ans. La durée du service militaire est de 6 ans dans

l'armée active et de 13 ans dans la réserve. Tous les hommes ne faisant pas partie de l'armée active et de la réserve comptent dans la *landwehr*, qui comprend deux classes d'individus : la première formée des hommes âgés de 22 à 40 ans, la seconde de ceux âgés de 41 à 60 ans. Les plus jeunes classes de la landwehr sont annuellement réunies pour faire des exercices et des manœuvres. On choisit les recrues destinées au régiment du génie parmi les hommes dont les connaissances professionnelles se rapportent aux différentes branches du service.

Les officiers du génie bavarois sont recrutés parmi les sous-officiers du régiment et parmi les élèves des écoles militaires. D'après le décret du mois d'août 1858, tous les candidats militaires qui veulent arriver à la position d'officier du génie, doivent justifier par un examen qu'ils possèdent les connaissances nécessaires pour suivre avec fruit les cours de l'école de l'artillerie et du génie ; ils doivent d'ailleurs avoir moins de 22 ans au moment où ils se présentent à cet examen.

ÉCOLE DE L'ARTILLERIE ET DU GÉNIE A MUNICH.

Cet établissement séparé depuis le 1er janvier

1857 de l'école des cadets, reçoit les élèves sortants de cette dernière école pour en former des officiers de l'artillerie et du génie. Le personnel de l'école comprend un commandant d'école et un inspecteur des études (ceux de l'école des cadets). Pour la direction spéciale des *Ygunker* et des sous-lieutenants, on a attaché à l'établissement 3 capitaines du génie et de l'artillerie, membres de la commission des études et qui sont chargés de faire les cours principaux concernant le service des deux armes. Un lieutenant d'artillerie est employé à l'école pour l'exécution des détails du service.

L'enseignement à l'école comprend deux années d'études, après lesquelles les élèves passent les examens de sortie et sont envoyés dans les régiments de l'artillerie et du génie. Cependant d'après un décret royal du 2 octobre 1861, des élèves peuvent après la première année être admis comme sous-lieutenants dans les services publics, s'ils ont été reconnus aptes à ces fonctions par un examen passé devant la commission des études de l'école. Les matières professées pendant les 4 semestres à l'école sont :

La science de l'artillerie.

L'art de la fortification, la guerre des siéges et le service des troupes du génie.

L'art des constructions.

Les mathématiques supérieures, y compris la statique et la mécanique.

La géométrie descriptive et ses applications;

La physique et la chimie, avec leurs applications aux services de l'artillerie et du génie.

Dessin à main levée, dessin topographique, dessin de fortification, de machines et d'architecture;

Langue française. Équitation. Exercices militaires pratiques.

Les élèves pendant les 2e et 4e trimestres visitent les travaux pratiques faits par les régiments d'artillerie à Munich, et par le régiment du génie à Ingolstadt.

Dans le corps du génie bavarois, l'avancement se fait comme pour les officiers de toute l'armée au choix du roi; mais, quoique l'ancienneté ne constitue pas un droit, on y a toujours égard. Les officiers du génie, de l'état-major et du régiment ne forment qu'un seul et même corps et ils passent indistinctement d'un service à l'autre.

FORTIFICATIONS.

Après la chute de Napoléon Ier, le premier soin de la Sainte-Alliance fut de garantir l'Allemagne contre une nouvelle invasion des armées françaises. Dans ce but elle partagea les territoires touchant aux frontières est et nord-est de la France en le plus grand nombre de puissances, afin d'intéresser celles-ci à une commune défense des frontières d'Allemagne et surtout de la ligne du Rhin. Avec les contributions de guerre qu'elle reçut, la Prusse fit élever les places de Cologne et de Coblentz, et la Confédération germanique consacra cinq millions à la réparation et à l'agrandissement de la forteresse de Mayence.

La Bavière érigée en royaume sous la protection de Napoléon Ier, pour prix de son alliance avec la France, céda à l'Autriche par les traités de Vienne : les cercles du Tirol, de Salzbourg, du Vorarlberg et de l'Inn ; elle reçut en échange Wurtzbourg, Ascheffanbourg et la province rhénane. Separée du royaume de Bavière proprement dit par le Wurtemberg et le duché de Bade, la Bavière rhénane est située tout entière sur la rive gauche du Rhin et la

défense de cette province semble être confiée plus spécialement à la Confédération germanique. Une excellente place, Landau, jadis fortifiée par Vauban (1683), a été déclarée place fédérale. Continuant au sud de Mayence la défense de la frontière d'Allemagne, la Diète fédérale désigna l'emplacement de Germersheim comme le point le plus favorable à l'établissement d'une place forte destinée à couvrir le Rhin central. La Bavière reçut quinze millions de contributions de guerre (1) pour construire cette nouvelle place et vis à vis d'elle une tête de pont sur la rive droite du fleuve. Landau et Germersheim sont reliés par un petit cours d'eau, la Queich, qui coule paralèllement à la frontière française et se jette dans le Rhin près de cette dernière place.

Les ingénieurs bavarois ont aux frais de la Confédération germanique (qui pourvoit aux dépenses d'entretien de toutes les places fédérales), augmenté et amélioré les fortifications de Landau. Tous les ouvrages détachés ont été complétés avec un réduit maçonné placé à leur gorge; un ouvrage à cornes avec réduit a été établi près du chemin de

(1) Les dépenses faites pour fortifier Germersheim sont évaluées à 27,000,000 de francs.

fer, il sert à couvrir celui-ci et à protéger les écluses de l'inondation; enfin une grande caserne défensive a été construite à la gorge de l'ouvrage à cornes du fort.

La place de Germersheim, établie sur la rive gauche du Rhin, a une enceinte précédée de sept ouvragés détachés; une partie de l'enceinte et des ouvrages ont les fossés pleins d'eau. Sur la rive droite du fleuve, les ingénieurs bavarois ont contruit une tête de pont que protègent trois ouvrages détachés, ayant à leur gorge des réduits maçonnés. Sous la protection de ces ouvrages une armée pourra facilement déboucher et se déployer sur la rive gauche du Rhin, ou se replier en cas d'échec sur la rive droite du fleuve.

Après avoir pourvu à la défense du Rhin inférieur et central, la Confédération germanique porta son attention sur une autre région de ce fleuve qui a souvent été choisie pour le passage des armées françaises. Pour pénétrer au cœur de l'Allemagne et spécialement dans la vallée du Danube, les Français avaient dans les guerres antérieures suivi alternativement deux routes. Tantôt débouchant du Rhin entre Strasbourg et Huningue, les armées françaises avaient traversé les défilés de la

Forêt-Noire, seuls passages praticables à travers le massif des Alpes de Souabe dont la chaîne sépare les bassins du Rhin et du Danube; tantôt remontant le Rhin jusqu'à Schaffhouse, elles avaient franchi ce fleuve près du lac de Constance et s'étaient ainsi trouvées aux sources du Danube, en évitant le passage des défilés. Dans la mémorable campagne de 1805, Napoléon, laissant la Forêt-Noire à sa droite, cotoya les Alpes de Souabe sans les franchir, suivit le pied des versans nord de ces montagnes, passa transversalement les vallées du Neker et du Mein qui en découlent, se porta par Wurtzbourg dans les plaines de la Franconie et tourna par cette savante marche l'armée autrichienne postée à Ulm.

Afin de fermer à l'avenir les défilés de la Forêt-Noire au passage des armées françaises, la Diète germanique fit fortifier Rastatt, déclarée place fédérale et destinée à recevoir pour sa défense le 8ᵉ corps de la Confédération. Rastatt, Germersheim et Mayence rendront impossible, tant que ces places n'auront pas été prises, la marche d'une armée française qui suivrait l'itinéraire de celle de 1805. Une armée d'invasion en Allemagne semble donc réduite à passer le Rhin près du lac de

Constance et à descendre la vallée du Danube. Des précautions très-grandes ont été prises par la Confédération en vue de ces éventualités. Pleine du souvenir néfaste de 1805, l'Autriche obtint de la Diète germanique qu'Ulm serait transformé en une place fédérale de premier rang avec un grand camp retranché. S'appuyant au Danube par Ulm, se couvrant de l'Iller, affluent dont le cours est perpendiculaire à la direction de ce fleuve, une armée pourra résister solidement à l'ennemi débouchant du haut Danube.

Les ingénieurs bavarois ont été chargés de construire la tête de pont d'Ulm située sur la rive droite du fleuve et par conséquent sur territoire bavarois. Cet ouvrage, situé en plaine, se compose de quatre fronts très-réguliers, avec fossés plein d'eau et réduits maçonnés dans les chemins couverts. Trois ouvrages avec réduits en maçonnerie sont détachés en avant de la tête de pont. La construction de l'enceinte d'Ulm située sur la rive gauche du Danube et des neuf forts détachés qui la couvrent, a été confiée aux ingénieurs prussiens.

La forteresse d'Ulm n'a de véritable importance pour la Bavière que dans le cas où cette puissance marche d'accord avec la Confédération ; mais en

vue d'une défense isolée, la Bavière a voulu créer à son armée une place d'armes qui, située au centre de la monarchie, pût à la fois renfermer une grande partie des ressources militaires du pays, recevoir l'armée bavaroise pour s'y refaire après un échec, et servir de noyau à une levée en masse. Le Danube traversant la Bavière sur une grande étendue et dans sa partie centrale, il était indispensable d'établir la nouvelle place sur le bord de ce fleuve, afin qu'elle en commandât la navigation et les routes qui longent ses deux rives et qu'elle fournît à l'armée bavaroise un passage assuré de cet important cours d'eau. Le gouvernement bavarois fit dans ce but fortifier Ingolstadt, situé sur la rive gauche du Danube et à l'entrée d'une grande plaine. Sur la rive droite, les ingénieurs bavarois ont établi une tête de pont à laquelle le fort Tilly et deux ouvrages maçonnés de forme elliptique servent de réduit. L'enceinte de la rive gauche est protégée par des ouvrages détachés et une partie de ses fossés sont pleins d'eau.

La ville de Wurtzbourg, placée dans la vallée du Mein et au centre de beaucoup de routes im-

(1) Les fortifications d'Ingolstadt ont coûté environ 37,000,000 fr.

portantes, est protégée par un vieux château qui dans la campagne de 1813 a joué un rôle assez important. Les ingénieurs bavarois ont restauré et amélioré les ouvrages de ce château dit citadelle de Marienberg, qui pourra devenir un excellent point d'appui pour un corps d'armée chargé de défendre la vallée du Mein.

Les places d'Ingolstadt et de Germersheim, avec la tête de pont de Nev-Ulm, résument les travaux de fortifications construits dans ce siècle par les ingénieurs bavarois. Tous ces ouvrages ont pour base le tracé allemand ; mais quoique situés en pays de plaine, ils présentent une très-grande variété dans l'application des principes de la fortification polygonale et leur conception fait honneur au corps des ingénieurs bavarois. La place d'Ingolstadt spécialement a été construite avec un très-grand soin ; certaines parties de l'enceinte présentent même un véritable luxe architectural et portent l'empreinte des goûts artistes du Roi Louis Ier qui fit exécuter sous son règne les fortifications de cette place.

ÉTUDES

DE

BALISTIQUE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE

AYANT PARTICULIÈREMENT POUR OBJET LES NOUVELLES ARMES A FEU PORTATIVES DE L'ARMÉE IMP. ET ROY. ET LES CARABINES-MINIÉ DE L'ARMÉE FRANÇAISE,

Par **Joseph-George BŒHM**, directeur de l'observatoire I. et R., professeur titulaire du cours public d'astronomie, à Prague, membre du conseil I. et R. de l'instruction publique et de plusieurs sociétés savantes. (Extrait des *Annales de la Société royale des Sciences de Bohême*, 5e série, 11e volume). Traduit de l'allemand par **J.-E. TARDIEU**, ancien capitaine d'artillerie.

AVANT-PROPOS.

Pendant le cours de mes relations avec M. Théodore Andres, capitaine au 16e régiment I. et R. d'infanterie de ligne, son attention fut surtout attirée par deux horloges à demi-secondes que j'avais disposées de manière à pouvoir mettre leur pendule en mouvement à volonté, à l'aide du courant galvanique. Je me servais avec avantage de ces horloges pour transporter avec la plus rigoureuse exactitute en différents points des bâtiments cupés par l'observatoire, les ind

fournies par notre horloge principale. Elles se prêtent du reste parfaitement à la détermination précise des différences de longitude de lieux reliés entre eux par une communication telégraphique, et ont en outre le grand avantage de ne pas gêner le service des dépêches, puisqu'elles n'emploient le courant que pendant quelques secondes chaque jour.

M. le capitaine Andres eut l'idée d'employer ces horloges à la mesure du temps que met un projectile en mouvement à parcourir son trajet. Il me la communiqua, et c'est ainsi que nous fûmes conduits à discuter immédiatement un plan général de la marche à suivre dans des épreuves de ce genre, et à reconnaître en particulier l'importance du tir à écrans pour la détermination de la trajectoire réelle.

Le capitaine poursuivit cette idée avec une grande persévérance, et après s'être assuré qu'aucune tentative de ce genre n'avait eu lieu jusqu'à présent dans notre pays, lorsque je lui eus promis en outre de lui prêter mon concours et mon appui dans le cas où j'en serais prié par les autorités compétentes, lorsqu'enfin les doutes que nous avions pu concevoir eurent été levés par quelques

petits essais préliminaires, il s'adressa à S. E. M. le feld-maréchal baron de Wernhardt, afin d'obtenir de lui, en sa qualité d'inspecteur d'armes de l'armée I. et R., la permission d'entreprendre les expériences qu'il avait en vue et sa protection pour cette entreprise.

Dans le mémoire mis sous les yeux de S. E., Mr le capitaine Andres indiquait le nouveau fusil à longue portée de l'infanterie comme l'arme sur laquelle il se proposait de faire les épreuves, et la détermination de la durée du trajet de la balle pour diverses distances, ainsi que celle de la trajectoire comme leur objet immédiat.

Il faisait remarquer en outre que l'on pourrait en déduire d'une manière certaine les éléments les plus importants du mouvement, la vitesse initiale et la résistance de l'air, et que les éclaircissements qu'elles promettaient de fournir, quoique ne présentant au premier abord qu'un intérêt surtout théorique, ne seraient pourtant pas sans utilité pour la pratique, ce dont on ne saurait néanmoins donner d'avance une démonstration certaine.

Son E. M. le F. M. qui s'intéressait au plus haut degré à tout ce qui pouvait contribuer à la connaissance plus approfondie ou au perfectionne-

ment des armes à feu portatives, non-seulement accorda la permission demandée mais encore y ajouta la recommandation d'étendre les expériences à toutes les armes à feu portatives de l'armée et aux carabines Minié françaises. Ceci avait lieu au printemps de 1858, et le 7 mai, je reçus de Son Exc. le commandant militaire supérieur de la Bohême, l'invitation de prêter mon concours aux expériences en question. Le présent traité montrera suffisamment quels ont été mes efforts pour répondre dignement à cette honorable invitation.

Au commencement du mois de juin les travaux préparatoires étaient si avancés que les épreuves purent commencer et elles furent entièrement terminées vers la fin d'octobre, après avoir subi dans l'intervalle une courte interruption pendant les vacances d'automne. Le travail qui consistait à revoir et à coordonner les résultats immédiats des expériences, prit plus de temps encore et je ne pus le considérer comme terminé qu'au commencement de l'année 1859. Dans l'intervalle l'horizon s'était obscurci, la guerre avec la France et la Sardaigne avait éclaté et l'on ne pouvait prévoir quelle en serait la durée. Le régiment du baron

de Wernhardt, dans lequel sert le capitaine Andres, fut appelé sur le champ de bataille et le capitaine se trouva dans l'impossibilité de continuer à se livrer à des occupations réservées au temps de paix. Mais comme il n'avait encore terminé qu'une petite partie des calculs, on ne savait plus quand il pourrait compléter son travail et les résultats que j'avais obtenus me semblant trop importants pour les retenir inutilement sous le boisseau plus longtemps dans les circonstances présentes, je considérai comme un devoir, après m'être entendu par lettre avec M. le capitaine Andres, de porter tout de suite les plus saillants à la connaissance de Son Ex. le commandant militaire supérieur de la Bohême, et de lui annoncer en même temps la conclusion définitive de mes travaux et l'entier accomplissement de ma mission. . . . .

Ce fut alors seulement que je pus songer à satisfaire le désir qui m'avait été exprimé de divers côtés, de voir livrer ces travaux à la publicité de l'impression. Car quelque soin que nous eussions mis à éviter de rien laisser transpirer de nos expériences, aussi bien pendant leur durée qu'après, elles n'avaient pas eu lieu dans un endroit assez

retiré pour que le bruit ne s'en répandît pas.

Je me résolus enfin à donner satisfaction à ces demandes reitérées, mais je crus devoir auparavant m'adresser à Son Exc. le commandant en chef de l'armée, pour lui faire part de mon intention et lui demander son autorisation. C'est par cette raison que je n'ai pu procéder à l'impression qu'aujourd'hui, après avoir reçu de Son Exc. cette autorisation écrite, en date du 24 novembre. En le faisant, je dois observer avant tout que nos essais sont très-éloignés de prétendre à la perfection. La chose fut décidée trop promptement, le temps fut trop limité, enfin les moyens que nous eûmes à notre disposition et qui consistèrent presque uniquement dans mes faibles ressources privées, furent trop imparfaits pour pouvoir entreprendre quelque chose de régulier. Mais dans le fait il ne s'agissait réellement pas de cela, il ne s'agissait pour le moment que de la mise à l'épreuve d'un nouveau mode d'expérimentation ou, à proprement parler, de simples études de balistique et l'on ne doit pas voir autre chose dans nos essais. Malgré cela on peut, ainsi que je le montrerai, en tirer des conclusions certaines d'une haute importance pratique, ce qui montre bien

évidemment combien il est nécessaire que l'autorité de la science vienne en aide à la pratique pour que celle-ci donne des résultats complets, et ce qui donne aux praticiens outrés, aux contempteurs de toute théorie, comme on en rencontre encore quelques-uns partout, même dans les classes instruites, une leçon dont ils devraient au moins profiter un peu.

Les recherches qui suivent ne s'appliquent qu'aux armes à feu portatives, mais tout le monde reconnaîtra sans peine qu'on pourrait les étendre avec fruit à toutes les autres espèces d'armes à feu en suivant les mêmes procédés, sauf quelques légères modifications faciles à apercevoir. Que leur importance en soit accrue, que les canons rayés, par exemple, ne puissent arriver à leur entier perfectionnement tant que l'on ne prendra pas pour base de leur confection des expériences semblables conduites avec exactitude et circonspection à l'aide de moyens auxiliaires adaptés à ce nouvel objet et soumises au calcul, cela est hors de doute et cela ressortira clairement de ce qui suit; quoiqu'il puisse être nécessaire, pour approfondir la question, d'en faire l'objet d'un nouveau traité.

En résumé, celui-ci n'est autre chose qu'une

sorte de compte rendu scientifique que nous adressons au public, ainsi qu'il est d'usage de le faire dans d'autres pays où l'on a contracté cette louable habitude par suite de la conviction que la science ne peut réellement prospérer qu'à l'aide de la publicité la plus étendue. J'ose espérer que cet écrit, tout court qu'il est, contribuera pour sa part à cette prospérité, ne fût-ce qu'en donnant une nouvelle impulsion à l'intérêt scientifique qui s'attache à des recherches de ce genre et qui s'était quelque peu refroidi.

Prague — décembre 1850.

I

EXPÉRIENCES SUR LA DURÉE DU TRAJET DE LA BALLE.

A. Dans le mémoire cité plus haut, adressé à Son Excellence M. le F. M. baron de Wern-hardt, la mesure aussi exacte que possible des temps employés par le projectile à parcourir des distances de 50, 100, 150... etc., pas était indiquée comme le but immédiat de nos expériences. Puis venait la détermination de la trajectoire effective. De ces recherches primordiales on devait tirer ensuite les conséquences propre à faciliter l'étude de la balistique et en conclure notamment la vitesse initiale du projectile, la résistance que l'air lui oppose et la courbe réelle qu'il décrit lorsqu'il est lancé sous de faibles inclinaisons.

On n'avait jamais, que je sache, rien entrepris en Autriche,j usqu'à ce jour, pour la détermination des deux éléments dont il s'agit.

On se servait en général auparavant du pendule balistique, et ce n'est que tout récemment que l'on a commencé à faire usage de l'ingénieux pendule électro-magnétique du capitaine Navez.

Le pendule balistique ne conduit qu'à la connaissance de la vitesse initiale. Si l'on veut l'employer à déterminer la vitesse du projectile en différents points de son trajet, on rencontre de grandes difficultés et l'on n'arrive pas au résultat désiré. Ce n'est même que par une voie fort détournée qu'il permet d'arriver à la détermination de la vitesse initiale, laquelle se déduit de l'effet dynamique exercé sur le pendule par le projectile. De plus, il faut tenir compte de maintes circonstances dont l'appréciation exacte et certaine est soumise à de grandes difficultés qui ne permettent pas, quant à présent, de la faire avec toute la précision désirable. La vitesse initiale obtenue à l'aide du pendule balistique ne peut donc être acceptée avec une entière confiance. La connaissance de cette vitesse ne suffit pas d'ailleurs pour résoudre les divers problèmes de la balistique ; il est nécessaire d'y ajouter, entre autres, celle de la résistance de l'air à la marche du projectile, autrement dit la loi du rapport entre la diminution de

la vitesse et le chemin parcouru. Le pendule balistique n'indique rien relativement à cette loi ; il ne répond donc plus aux exigences, ni à l'état actuel de la science, et ne pourra plus avoir à l'avenir qu'un usage fort restreint partout où il sera question de progrès.

Le pendule électro-magnétique du capitaine Navez est une invention fort ingénieuse, et sert à la mesure précise des instants très-courts qu'un projectile emploie à parcourir de très-petites parties de son trajet (des longueurs de 100 à 120 ou de 50 à 60 pas, par exemple). Il résout ce problème avec toute la précision et la facilité désirables. Avec ce pendule il est donc possible de rechercher la vitesse que possède le projectile en différents points de sa course, et cela conduit à trouver le rapport qui existe entre cette vitesse et la résistance qu'il éprouve de la part de l'air. Mais pour ramener l'importance des résultats obtenus par cette voie à sa juste valeur, il faut se souvenir que quelle que soit la perfection des procédés employés, une observation quelconque est toujours soumise aux imperfections inévitables attachées à nos moyens terrestres et bornés. Les observations faites à l'aide du pendule du capitaine

Navez n'en sont donc pas exemptes. Les erreurs sur les intervalles de temps mesurés ainsi seront sans doute dans tous les cas des quantités fort petites, ainsi que le démontrent quelques-unes des expériences connues. Les intervalles de temps, par exemple, employés par le projectile à parcourir une longueur d'un petit nombre de mètres, s'accordent à de si petites fractions de seconde près, que l'on peut considérer les différences comme négligeables. Mais il ne faut pas perdre de vue que l'importance des erreurs réside bien moins dans leur grandeur absolue que dans leur influence sur le résultat final.

Or, dans les expériences exécutées avec cet instrument justement vanté, les longueurs de trajet dont on détermine la durée sont très-petites et le résultat auquel il s'agit d'arriver est la vitesse avec laquelle a eu lieu le mouvement pendant les très-courts instants mesurés. Nommons cette vitesse c et désignons par s le chemin parcouru dans un temps très-court t avec une vitesse uniforme, on aura :

$$c = \frac{s}{t}$$

On se trouve donc placé dans des conditions

désavantageuses puisqu'on est obligé de conclure de l'espace parcouru dans un temps très-petit, celui, beaucoup plus considérable, qu'il parcourrait dans l'unité de temps. Admettons maintenant que dans l'observation du temps t, on ait commis une erreur dt, et désignons par dc l'erreur qui en résulte sur la vitesse, nous obtiendrons, en négligeant le signe

$$dc = c.\frac{dt}{t}.$$

Admettons en outre que la longueur s exige une correction ds, il en résultera de même

$$dc = \frac{1}{t}\,ds,$$

d'où par addition

$$dc = c\frac{dt}{t} + \frac{1}{t}ds;$$

et l'on voit que de très-petites erreurs dans les observations peuvent entraîner des incertitudes fort sensibles dans les résultats.

Pour traiter un cas particulier, supposons que l'on ait $s = 10$ mètres ou environ 12 1/2 pas, et $t = 0,025$ secondes, il en résultera

$$c = 500 \text{ pas.}$$

et l'incertitude sur ce résultat sera

$$dc = 20000\ dt + 40\ ds.$$

Supposons maintenant que la mesure du temps t soit exacte à $^1/_{10}$ près de sa valeur, ou bien à $^{25}/_{10000}$ de seconde, ce qui donne $dt = 0{,}0025$, et prenons $ds = {}^1/_{10}$ de pas, l'incertitude sur la vitesse c pourra être de

$$50 + 4 = 54 \text{ pas.}$$

Cet exemple a été pris au hasard, mais quoique les expériences connues semblent offrir une exactitude beaucoup plus grande, on ne trouvera pas qu'il ait été choisi trop défavorable, si l'on considère les diverses influences subies par le pendule aussi bien que par les opérations qu'entraîne son emploi, influences auxquelles il est impossible de se soustraire entièrement, et si l'on se souvient en outre que dans certains cas plusieurs petites erreurs peuvent s'ajouter, mais que dans celui-ci surtout, elles se reproduisent toutes dans le résultat, fort agrandies et vues pour ainsi dire au microscope. La supposition que l'on fait pour calculer la vitesse et en vertu de laquelle le projectile parcourt une petite distance avec une vitesse uni-

forme, n'est pas exacte non plus d'une manière absolue. Elle approche sans doute beaucoup de la vérité quand l'espace parcouru est très-petit, mais on retombe ici dans le même cas défavorable que tout à l'heure. On conclut du petit au grand et les petites erreurs introduites dans le calcul sont agrandies dans le résultat. Il est évidemment tout à fait indifférent que ces erreurs proviennent de l'observation ou d'une supposition fausse.

L'unité de temps pour toutes les vitesses ainsi que pour tous les calculs de la balistique est *la seconde de temps moyen*. Il est donc indispensable que toutes les données fournies par l'instrument dont on se sert pour la mesure des temps puissent être traduites exactement en secondes de cette espèce. Cela présente des difficultés avec le pendule en question; pour pouvoir réduire avec exactitude le temps de ces oscillations en secondes, il faudrait être en mesure de comparer immédiatement une longue suite non interrompue de ces oscillations avec celles d'une horloge à balancier dont on connaîtrait parfaitement la marche, ce qui est impraticable avec le pendule du capitaine Navez. En supposant que la seconde de ce pendule ne diffère de celle du temps moyen que de $^1/_{100}$, il

pourrait néanmoins en résulter une erreur de 5 pas, sur une vitesse qu'on aurait trouvée égale à 500 pas, etc.

Quoique ces erreurs et d'autres semblables ne puissent dépasser des limites assez restreintes, plusieurs d'entre elles peuvent cependant, par leur réunion, contribuer à fausser le résultat. De plus, il y a d'autres erreurs constantes, connues d'avance, dont la persistance est parfaitement établie, et qui, dans l'état actuel de l'art d'observer, doivent être évitées à tout prix, puisque leurs fâcheuses conséquences ne peuvent être annulées, ni par la multiplication des épreuves ni par le calcul, et qu'il reste toujours assez d'autres causes d'erreur inconnues, indéterminées, inévitables par conséquent, sans compter celles qui sont dues exclusivement au hasard.

Par ce qui précède, je ne veux pas le moins du monde rabaisser le mérite de ce remarquable appareil, ou en faire la critique. Mon seul objet est d'empêcher qu'on n'estime les résultats obtenus au-dessus de leur valeur, ce qui est la plus déplorable des erreurs dans lesquelles un expérimentateur puisse tomber. Quant à l'appareil en lui-même, je le considère, et en cela je suis d'accord

avec tous ceux qui s'occupent de balistique, comme une invention des plus ingénieuses dont on ne saurait trop féliciter l'auteur.

Le but immédiat de nos expériences n'était pas, du reste, la mesure d'intervalles de temps infiniments petits. Ils devaient être ou petits ou d'une grandeur sensible montant à plusieurs secondes selon la distance que le projectile aurait à parcourir, et nous avions l'intention d'étendre cette distance jusqu'à la portée efficace totale de l'arme. Ce fut-là le principal motif pour lequel nous ne pûmes faire usage de l'excellent appareil du capitaine Navez, et ce qui me contraignit de songer à la construction d'un appareil nouveau, puisque nous n'en avions sous la main et n'en connaissions aucun autre plus propre à remplir notre but. C'est précisément la mesure de la durée du trajet pour des distances quelconques qui constitue le caractère distinctif de notre méthode pour la détermination des éléments balistiques (1), et le procédé

(1) Ce n'est que pendant l'impression de ce traité que j'ai pu prendre une connaissance complète des expériences remarquables et détaillées d'un officier prussien du plus grand mérite, M. le colonel Otto. J'y ai trouvé, avec une bien sincère satisfaction, la preuve que le colonel était entré depuis

employé pour cette mesure en forme une des parties essentielles. Cette méthode est destinée à conduire à la connaissance de la vitesse initiale et de la résistance de l'air par une voie rigoureuse, c'est-à-dire, sans le secours d'aucune supposition arbitraire ou de toute autre qu'on sait d'avance ne pas être exactement vraie, et enfin sans qu'il soit nécessaire de conclure de quantités très-petites à de très-grandes, ce qui était le cas pour toutes les autres méthodes pratiquées jusqu'ici. On devait arriver à ce résultat par l'observation des temps employés par le projectile à parcourir différentes distances.

Si l'on a mesuré, par exemple, les temps employés à parcourir des distances de 50, 100, 150... pas, ces temps formeront une suite de grandeurs qui iront en croissant suivant une loi déterminée, dans laquelle la *vitesse initiale* et la *résistance de l'air* seront les seules quantités inconnues. Si maintenant on ne connaît pas l'expression analytique de cette loi, on peut toujours lui en substituer une autre, également sous la forme ana-

plusieurs années déjà dans la même voie pour ses épreuves réglementaires, et qu'il l'avait signalée comme la meilleure pe toutes.

lytique, d'après laquelle les temps déduits du calcul se rapportent le plus exactement possible à ceux déduits de l'expérience. Une fois ce résultat obtenu, on arrive immédiatement à la connaissance de tous les éléments du mouvement, avec une certitude qui ne dépend absolument que du degré de rigueur des observations.

On reconnaît facilement qu'une telle manière de procéder est dégagée de toute hypothèse non justifiée, et qu'elle ne conclut pas de très-petites grandeurs à de très-grandes, mais au contraire du chemin parcouru en plusieurs secondes à celui parcouru dans *une seule*, la première, ce qui est à la fois plus exact et plus scientifique. Essayer la réalisation pratique de cette méthode, étudier ses propriétés, tel était le but de nos travaux.

Quiconque s'est occupé de l'application des mathématiques à des recherches pratiques, doit avoir sur leur renommée d'infaillibilité des idées beaucoup plus justes que celles que l'on s'en fait généralement dans le public, où cette infaillibilité est devenue proverbiale. Dans le fait, elle n'a de signification et de valeur qu'autant que l'on possède le moyen de soumettre les résultats du calcul à une vérification certaine. Le physicien doit donc,

quand il s'agit non pas de ses hypothèses mais de la vérité dans toute sa rigueur, ne jamais négliger l'occasion de soumettre son travail à un contrôle sévère toutes les fois qu'il le peut, même quand ce contrôle devrait présenter autant de difficultés que le travail lui-même. C'est pour cela que nous en cherchâmes un aussi sévère que possible, qui nous fut fourni par le *tir à écrans* et qui forme la seconde partie de notre méthode.

Lorsqu'à l'aide des temps observés on a déterminé les éléments du mouvement : la vitesse initiale et la résistance de l'air, c'est à l'analyse de calculer la courbe décrite par le projectile. Si ces éléments ont été déduits des expériences exactement, c'est-à-dire d'une manière conforme à la vérité, il faudra que la courbe calculée d'après eux soit conforme à celle que le projectile décrit réellement. Il ne s'agit donc plus que de reproduire cette dernière avec une fidélité parfaite, de la prendre sur nature, et l'on y parvient, comme tout le monde le comprendra, en tirant à travers des cibles en papier (écrans), séparées entre elles par des distances déterminées. La coïncidence de la courbe effective ainsi obtenue, avec celle que donne le calcul, fournit la preuve la plus irrécu-

sable d'exactitude, tandis que dans le cas où cette coïncidence n'est pas parfaite, ce défaut fournit les moyens de corriger les éléments du mouvement.

Si l'on réunit les deux genres d'épreuves (durées des trajets et tir à écrans), la conclusion des investigations sera telle qu'il est impossible d'en imaginer une plus complète et plus convaincante.

Nous avons développé plus haut d'une manière circonstanciée, les motifs qui nous obligèrent à songer à l'établissement d'un appareil particulier pour la mesure de la durée des trajets. Un problème de ce genre ne présente en général aucune difficulté pour bien des gens, et au moment même où j'écris ceci, j'ai devant moi un de ces appareils qui laisserait peu à désirer pour l'objet en question. Mais il s'agissait pour nous d'en imaginer et d'en installer immédiatement un qui pût entrer en fonction sur-le-champ, puisqu'on n'avait pas le temps d'entreprendre des expériences sur sa valeur. De plus, comme je devais subvenir à tous les frais avec mes ressources privées (1), je me trou-

(1) C'est ici l'occasion de rappeler que j'ai été par la suite largement indemnisé de ces avances par le gouvernement.

vais intéressé à réussir du premier coup s'il était possible, car rien n'est plus coûteux, on le sait, que les changements sans fin auxquels donne lieu la construction d'un instrument manqué. Les circonstances rendaient donc évidemment la position très-difficile et il faudra tenir compte de cette difficulté dans le jugement qu'on portera sur l'ensemble de nos travaux.

Depuis longtemps, je m'étais occupé de l'agencement d'appareils météorologiques appropriés à leur destination et inscrivant eux-mêmes les observations. Une girouette autographe de ce genre était déja terminée en grande partie. Heureusement on put se convaincre par la simple réflexion qu'une des parties principales de cet appareil (un charriot avec une horloge), légèrement modifiée pourrait très-bien remplir notre but. Je me vis donc conduit ou, pour mieux dire, contraint par les circonstances à changer *l'anémographe* en *chronographe*.

Notre chronographe, dont la description va suivre immédiatement, n'est donc qu'un simple expédient et nous désirons vivement qu'il ne soit jugé qu'à ce point de vue. Il en est de même des autres parties qui sont étroitement liées avec le

chronographe dont elles dépendent et qui seront décrites après lui.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

(*a*) *Le chronographe.* Ce mécanisme représenté dans la fig. 1. se compose de trois parties principales : 1° Le rouage, 2° le charriot, et 3° la machine à tracer ou les crayons.

Un mouvement ordinaire d'horlogerie dont on avait enlevé l'échappement et la roue de rencontre et dont le tambour avait été privé de son ressort, servait de rouage. Il est représenté fig. 1 et 2 en A.

La force motrice employée à la place du ressort était un poids de quelques onces fixé au tambour par un fil. Le poids étant remonté et la clef enlevée, le mouvement eût commencé immédiatement. Afin d'éviter cela et de pouvoir mettre le rouage en mouvement à volonté, on y avait ajouté le levier d'engrenage *m*, dont le rôle apparaît clairement à la seule inspection de la figure. En effet lorsque le poids était monté, le bras de levier *m* était arrêté par le crochet *n* qui pouvait tourner autour du point *u* et par suite la dent du levier

d'engrenage s'engageait dans la partie inférieure de la roue, ce qui empêchait le mouvement de tout le rouage. Réciproquement, si l'on voulait le mettre en marche en laissant descendre le poids, on repoussait le crochet *n* dans le sens de la flèche au moyen du levier H (fig. 1), dont il sera question plus tard; la dent X était dégagée par l'effet du ressort *g* et le mouvement devenait libre.

Le charriot B (fig. 1), consistait en un cadre de laiton supporté par quatre roues également en laiton, construites avec beaucoup de précision et très-mobiles. Ce charriot se mouvait sur une voie métallique composée d'un rail plat et d'un second rail à saillie arrondie. Afin d'assurer la direction du charriot, la circonférence des roues d'un des côtés était évidée en gorge de poulie, de manière à pouvoir s'adapter à la saillie du rail: celle des deux autres roues destinées à courir sur le rail plat présentait au contraire une légère convexité.

Le fil qui servait à remonter le poids était attaché d'un côté au tambour, de l'autre à un crochet *m'* fixé à la partie antérieure du charriot (celle qui se trouvait du côté du rouage), l'autre partie *m''* de ce fil, attachée à l'extrémité opposée du charriot, était enroulée autour de la poulie *v* et portait le

poids. Si l'on remontait le rouage, le charriot arrivait en roulant, jusqu'auprès de l'horloge, tandis qu'aussitôt après le dégagement du bras du levier *m*, il redescendait avec un mouvement à peu près uniformément accéléré.

L'introduction du rouage dans l'appareil n'était pas très-nécessaire et on pourrait en dire autant de plusieurs autres dispositions accessoires. J'avais eu en premier lieu l'idée de retarder, par cette introduction, le mouvement du charriot à volonté et de le rendre plus uniforme. Ce but ne fut pas atteint et il fallut y renoncer, attendu que sans cela la marche dudit charriot eût été beaucoup trop lente; nous n'avions d'ailleurs pas le temps de nous occuper du perfectionnement ou de la simplification de l'appareil.

Le plateau C formait une seconde partie du charriot. Il consistait en une plaque de zinc parfaitement plane et en un cadre composé de bandes de laiton qui pouvaient être fixées sur le plateau, solidement et facilement tout à la fois, à l'aide de targettes. Cette partie du charriot était destinée à porter la feuille de papier sur laquelle l'autographe devait tracer le dessin. Le papier était appliqué feuille par feuille et fixé sur la plaque de zinc au

moyen des bandes de laiton de manière à présenter une surface parfaitement plane. Le cadre du plateau C portait 3 chevilles correspondant à trois trous percés dans le cadre du charriot, ce qui permettait d'adapter sur ce dernier la plaque recouverte de papier, promptement, facilement et sûrement.

Pour abréger et faciliter la manipulation, nous avions deux plateaux de rechange, en sorte qu'aussitôt l'un enlevé on le remplaçait par l'autre et que les expériences ne souffraient aucun retard de ce changement. Le rouage et la voie métallique étaient fixés tous deux sur une table XY de dimensions convenables

La machine à tracer ou les crayons forment la troisième partie du chronographe. De chaque côté de la voie un fort socle en bois dur *dd* était vissé sur la table. A chacun de ces deux socles étaient fixées trois bandes de laiton et chacune de ces bandes présentait une ouverture rectangulaire assez grande pour fournir un libre passage aux trois règles *a, b, c* également en laiton. Les règles reposaient sur des cylindres à frottement engagés dans ces mêmes fenêtres et qu'on voit assez bien dans la figure. Le tout était organisé de manière que les

règles pouvaient se mouvoir très-facilement dans les deux sens à travers les fenêtres et avaient en même temps une direction fixe et invariable faisant un angle droit avec celle des rails.

Le mouvement de ces règles était produit d'une part par les poids *n*, *n'* et le ressort *f*, de l'autre par un électro-aimant et par un mécanisme dont il sera question plus tard.

Elles portaient les tiroirs *w*, *w*, *w* et les crayons 1, 2, 3 avec leurs douilles, dont la disposition est facile à saisir au moyen de la figure et ne présente d'ailleurs aucune importance.

De ce qu'on vient de dire il résulte visiblement que chacun des crayons, en supposant qu'il n'y ait aucune perturbation dans le mouvement, tracera forcément une ligne droite, mais aussi que cette ligne sera brisée à l'instant où la règle qui porte le crayon sera poussée ou plutôt tirée dans un sens ou dans l'autre par une cause quelconque pendant le mouvement du charriot. C'est au moyen de l'appareil suivant que l'on produisait le brusque déplacement des crayons à un instant déterminé.

(*b*) *Le pendule à intermittence électro-magnétique.* Si les conditions dans lesquelles le chronographe était destiné à fonctionner eussent été de nature à

le garantir de toute altération, à le tenir à l'abri de l'humidité, de la poussière, de la rouille et des ébranlements, on aurait pu espérer que le poids restant le même, le mouvement du charriot aurait toujours lieu avec la même vitesse. Dans ce cas il eût suffi de déterminer la loi de son mouvement, une fois pour toutes, par quelques essais préliminaires, et alors le chronographe, comme son nom l'indique, eût tenu lieu d'une horloge. Mais les circonstances dans lesquelles nous devions opérer n'étaient pas à beaucoup près aussi favorables, et je me vis obligé de relier l'appareil que je viens de décrire avec une horloge à balancier dont il enregistrât les battements.

L'horloge employée est une des remarquables pendules à demi-secondes construites à Prague par le célèbre Kossek, mort depuis peu ; selon mon habitude, afin de pouvoir la régler plus facilement aussi bien que pour lui donner quelques autres avantages, je la fixai sur un support à trois vis. Cette disposition permet de transporter l'horloge facilement, de l'installer partout sans difficulté et de la régler sans toucher au pendule.

Le support avait une hauteur d'environ 14 pouces, ce qui fournissait aux poids un trajet suffisant

pour maintenir l'horloge en mouvement durant quelques heures et nous n'en avions pas besoin pour plus longtemps. Une horloge de ce genre est extrêmement commode dans un grand nombre de cas.

Dans la fig. 3, on n'a représenté que la partie inférieure du pendule avec le système d'intermittence électro-magnétique dont nous avons surtout à nous occuper ici. En ce qui concerne ce dernier, des deux pièces de bois A et B qui le composent, la seconde est solidement reliée à une masse de plomb (qui sert en même temps à surcharger le pied de l'horloge mais qui n'a pas été représentée dans la figure), tandis que la première peut facilement glisser sur l'autre dans le sens de sa longueur avec un mouvement doux qui lui est imprimé au moyen de la vis E. Sur le prisme de bois A se trouvent les deux étaux conducteurs en laiton *a*, *b*, puis les deux montants *f*, *h* dont un seulement est visible dans notre dessin, et enfin la vis en corne *e e*.

Les étaux *a*, *b* n'ont besoin d'aucune explication.

La vis en corne dont *e e* est la tête monte et descend dans le prisme A. Cette tête porte une cavité

remplie de mercure, et le mercure qu'elle contient est maintenu constamment en communication avec l'étau *a* au moyen du fil de cuivre *r r*, fixé sur la pièce de bois A. Le montant *f h* est également en communication avec l'étau *b* par la bande de cuivre *m m*.

Les deux montants servent en même temps de points d'appui au levier mobile *c d' d*, de sorte que ce levier peut tourner autour d'un axe qui passe par leurs ouvertures *f*. Le levier *c d' d* est formé d'une lame mince de cuivre terminée en *d* par une lame semblable de platine, et en *c* par un appendice en ivoire, disposition dont les motifs sont faciles à concevoir. Comme il faut que cette partie soit aussi mobile que possible, elle doit être très-délicate et très-légère. Cela aurait l'inconvénient de rendre insuffisante la communication métallique de son axe *f* avec le support *f h* et d'empêcher le passage du courant de l'un à l'autre. Par cette raison, je soudai près du point *f* une toute petite coupe en fer *g* remplie en partie de mercure. Un petit morceau de platine laminé qui plongeait constamment dans le godet *g* fut également soudé à l'axe du levier *c d' d*. L'extrême mobilité du levier n'était amoindrie par là que d'une manière

insensible, et nous obtînmes ainsi une conductibilité parfaite qui ne manqua jamais son effet.

Supposons que les fils conducteurs K et K′ soient en communication avec les pôles d'une pile électrique, on voit facilement que par la position du levier dans la figure le circuit se trouve interrompu, et il n'y a pas de courant. Mais aussitôt que le levier sera abaissé par une pression opérée en *d* et que son extrémité *o* touchera le mercure de la tête de vis, le courant s'établira, puisque le fluide partant du pôle correspondant au fil K′ passera de ce fil dans l'étau *b*, puis par la bande *m m*, et de là, traversant le montant *h g* et le levier *c d′ d*, arrivera au mercure de la vis qui est en communication constante avec le fil K de l'autre pôle par le fil conducteur *r r*.

On voit donc que, suivant que le bras de levier *d* est abaissé ou levé, le courant électrique est formé ou interrompu et qu'en conséquence un électro-aimant communiquant avec la pile sera alternativement magnétisé et démagnétisé.

C'est le pendule de l'horloge qui remplissait la fonction d'abaisser le bras de levier *d* à des intervalles de temps parfaitement égaux. Dans ce but on avait vissé à l'extrémité inférieure du pendule

une pièce en ivoire t terminée par un biseau à arête mousse qui, à chacun de ses passages par la verticale, venait presser le levier en d pour un instant. Au moyen des diverses vis on arrivait promptement et sans difficulté à régler le mécanisme de manière que les mouvements du levier se succédassent à intervalles rigoureusement égaux.

(*c*) *Enregistrement des battements du pendule sur le chronographe.* Afin de rendre notre explication plus facile, nous emploierons la fig. 4 pl. 2. Dans cette figure la table sur laquelle le chronographe était installé est désignée par la lettre X. Une autre petite table P était destinée à l'horloge. R désigne la pile du pendule, laquelle fut composée d'abord de 3 éléments de Smee et plus tard de 2 éléments de Grove. Ainsi qu'on le voit clairement par la figure, le fil conducteur partant de l'étau K′ du mécanisme intermittent était en communication immédiate avec un des pôles de la pile par le fil $\beta\alpha$. L'autre, partant de K, enroulait d'abord l'électro-aimant L (fig. 1), et de là il allait rejoindre l'autre pôle par le fil μ.

L'horloge étant en marche et l'intermittence bien réglée, le courant était établi et interrompu

entre K et K' à des intervalles réguliers, et il est facile de voir (par la fig. 1), que l'ancre *e*, placée sous l'influence de l'électro-aimant L, était alternativement attirée et abandonnée par lui à chacun de ces intervalles réguliers. L'ancre *e* et le bras *zz'* formaient un levier coudé rectangulaire, et comme l'extrémité de ce bras était reliée à l'une des extrémités de la règle *b* au moyen d'un fil fin passant sur une petite poulie, tandis que le fil tendu par le petit poids *n* était attaché à l'autre extrémité de cette même règle, on voit facilement que, par la magnétisation et la démagnétisation alternative de l'électro-aimant, l'ancre attirée, puis relâchée, imprimait à ladite règle et à son crayon un mouvement instantané de va-et-vient. Le jeu du crayon étant produit par la formation et l'interruption alternative du courant, et ces dernières, ainsi qu'on l'a montré ci-dessus, se succédant à des intervalles de temps toujours parfaitement égaux à la durée d'une oscillation du pendule, il en résulte que ce jeu devait être lui-même d'une parfaite uniformité et coïncider avec le milieu de chaque oscillation.

Si le mouvement de va-et-vient de la règle a lieu pendant la marche du charriot, le crayon ne peut

plus tracer une ligne droite ; dans ce cas la ligne qu'il trace prend la forme



et les longeurs *de ef*, *fg*, etc., correspondent à des intervalles de temps rigoureusement égaux entre eux et à celui d'une oscillation.

Le temps était ainsi représenté graphiquement par une méthode précise, dégagée de toute appréciation propre à l'observateur et sur une échelle qui permettait d'évaluer nettement de très-petites fractions de seconde. L'exécution de cette opération était dévolue au crayon du milieu (N° 2, de la fig. 1).

(*d*) *Destination et manière de fonctionner des deux autres crayons*. Des deux autres règles l'une était en communication avec la bouche de l'arme, l'autre avec la cible.

Un fil attaché à l'extrémité antérieure de la première (dans la fig. 1) était tendu par le ressort *f*. Un autre fil *a*, *a*, *a* partant de l'extrémité opposée se dirigeait en passant sur plusieurs poulies et en traversant la cloison de la baraque vers l'appareil A qui était situé près de la bouche de l'arme et qui

sera décrit plus tard. Au moment où le coup partait le fil subissait, par l'intermédiaire de cet appareil (le trébuchet), une vive traction instantanée qui produisait un déplacement rapide de la règle et le crayon inscrivait ainsi le moment où la balle quittait le canon. Le ressort *f* ramenant promptement la règle à sa position primitive, la ligne tracée par le crayon avait la forme



et la longueur *ab* représentait le chemin parcouru par le crayon depuis l'entrée en marche du charriot jusqu'au moment où la balle était sortie du canon.

La 3me règle est maintenue d'un côté par le poids *n* (fig. 1) dans une position fixe, de l'autre un fil fin se porte vers le levier K duquel part un second fil allant à l'électro-aimant L′ (fig. 4). Cet électro-aimant, qui doit être assez puissant, se trouve ainsi qu'on le verra plus tard, en communication avec la cible de telle sorte que le courant est formé au moment où la balle vient la frapper. A cet instant l'électro-aimant devient magnétique, et attire à lui une ancre semblable à celle de l'élec-

court dans les premiers instants ne peuvent être que très-petits. Si ce mouvement eût commencé juste au moment où le coup partait, la longueur *mn* dans la dernière des 3 figures précédentes aurait donné immédiatement la représentation graphique de la durée du trajet; mais alors cette ligne, dans le tir à petites distances, eût été fort courte, et l'évaluation des fractions de seconde difficile. D'un autre côté il aurait aussi été difficile de faire coïncider exactement le départ du charriot avec le battement du pendule, ce qui cependant eût été indispensable pour réaliser notre supposition. On pouvait donc voir d'avance qu'il serait avantageux de faire en sorte que le mouvement du charriot commençât quelque temps avant l'explosion et surtout que cette explosion n'eût lieu qu'après l'enregistrement d'une oscillation.

On eût pu sans doute obtenir ce résultat à l'aide de la main toute seule et sans aucun appareil nouveau, en y mettant une grande attention et après quelque temps de pratique; mais je jugeai plus sûr d'attribuer cette fonction à un mécanisme particulier qui fût en état de la remplir et qui l'a remplie en effet avec une précision et une uniformité parfaites sans réclamer notre attention suffi-

samment appelée ailleurs. Nous appelons ce mécanisme : *la détente*, et ce sont les figures 4, 5 et 6 qui servent à son explication. Sur une petite table à part BB (figure 4 et 5) était placé un chemin de fer *s s'* sur lequel un morceau de bois massif et chargé de poids pouvait être tiré par un fil *t' t'* qui passait sur la poulie *q'* et portait un poids à son extrémité. En faisant varier ce dernier, on pouvait accélérer le mouvement à volonté suivant les besoins. Ce nouveau charriot était maintenu dans une position initiale fixe par un levier *e f* qui avait en *f* un fort excédant de poids; mais il devenait libre et commençait à rouler aussitôt qu'on abaissait le bras du levier *e*.

Dès qu'il s'était mis en marche le charriot était obligé de passer sur le levier *g h*; par suite l'extrémité *h* de ce levier abaissait le bras *m* d'un second levier *m n* (qu'on n'a pu rendre visible dans la figure 5), et opérait par là le retrait du fil *n*JH', qui tirait dans le sens de la flèche le bras H' du du levier HH' (dont on a parlé dans la description du chronographe). L'autre extrémité H de ce levier repoussait le crochet *n* (Fig. 1 et 2) qui enrayait le rouage, et le charriot du chronographe devenait libre à son tour et commençait à rouler.

Bientôt après le charriot glissait sur un troisième levier *op* (fig. 5) et abaissait le bras *p* de ce levier. De l'autre bras partait un fil qui traversait la table, passait sur une poulie et allait rejoindre un autre levier *q r* (fig. 6), fixé à la paroi de la baraque. Quand le bras de levier *p* était abaissé, le levier *q r* était en même temps tiré dans le sens de la flèche; cette traction se transmettait au fil *rr* (fig. 4), qui passait par une ouverture de la cloison en planches et produisait l'explosion comme on le montrera plus tard. Une pression que l'on exerçait sur le bras de levier *e*, au commandement : *Feu!* venu du dehors, mettait donc en premier lieu le chronographe en mouvement, puis comme l'éloignement des leviers sur lesquels le charriot devait passer avait été calculé de manière à remplir le but qu'on a signalé plus haut, le coup partait un instant après et juste au moment voulu.

(*f.*) *L'affût et l'élévateur.* — En dehors de la baraque mais près d'elle se trouvait la charpente destinée à supporter l'arme, laquelle est représentée fig. 7 et fig. 4. La base de cette charpente (fig. 7 et 4) était formée d'une plateforme de bois massif *a b c d*, reposant sur 4 pieds solides un peu inclinés. Ces derniers

avaient été pilotés afin d'assurer la stabilité de tout le système. Sur la plate-forme *a b c d* étaient emboités 4 piliers plus courts *a' b' c' d'* fixés par des étais et reliés deux à deux par une forte traverse. Sous ces traverses et parallèlement à elles, les deux tiges cylindriques en fer de force moyenne L' et L allaient d'un pilier à l'autre et étaient destinées à suspendre le berceau sur lequel était placé le canon de l'arme.

Le berceau consistait en un cadre un peu plus faible que la plate-forme mais consolidé à ses angles par de fortes ferrures. A chacun de ces angles un boulon reliait le cadre aux bandes de fer KK' qui en le suspendant aux tiges LL' lui permettaient un mouvement de balancement pour le recul.

Sur le bord postérieur *a" b"* du berceau était vissé un fort morceau de bois *v v* (le chevalet), destiné à supporter la partie de la monture du canon qui répondait à la crosse dans le système ordinaire. Cette partie était percée et pouvait ainsi être fixée sur le chevalet par le boulon *y y*, sans que le mouvement dans le sens de la longueur de l'arme fût empêché.

La partie antérieure de la monture reposait sur la traverse *mm* qui reliait les supports *zz* fixés sur

le berceau. Elle pouvait être fixée dans une position invariable ou bien être poussée, soit à droite soit à gauche par les vis latérales *ss* (fig. 7), dont une est cachée dans la figure. Afin de pouvoir également lui communiquer à volonté un mouvement doux dans le sens vertical, les montants *zz* portaient des rainures dans lesquelles la traverse *m* s'emboîtait exactement et pouvait être élevée ou abaissée au moyen de la vis d'acier *s*; en même temps les tiges de fer ββ servaient à consolider la traverse *m*. Nous donnâmes à cette partie du berceau le nom d'*Élévateur*, et ils répondirent tous deux si complètement à leur destination que nous recommandons l'emploi d'un appareil semblable partout où il s'agit d'un pointage commode et sûr, comme, par exemple, quand on veut éprouver des canons de fusil ou en régler le tir.

Nous nous servîmes toujours du nôtre sans exception et avec grand avantage pour diriger le canon aux mouvements duquel il permettait toute l'amplitude nécessaire. Mais s'il ne rendait pas absolument indispensable l'emploi d'une monture particulière pour le canon, il le rendait cependant nécessaire et désirable, ne fût-ce que pour ménager la crosse des armes. Pour remplir ce but, la

forme la plus simple était également la plus convenable et notre monture consistait en un prisme rectangulaire en bois d'une longueur suffisante dans lequel le canon et la batterie étaient placés et qui du côté du tonnerre portait le trou garni de lames de laiton destiné à donner passage au boulon *y* déjà mentionné.

Cette partie de l'affut, quand l'arme était en place et le chien armé, présentait l'aspect qu'elle a dans la fig. 7. La petite tige d'acier *o* remplaçait la gachette ordinaire, qui n'eût pas rempli parfaitement notre but. Nous désirions faire usage d'une détente très-sensible, et l'armurier du régiment, sans rien changer à la batterie, nous en organisa une extrêmement simple qui se terminait par le bras de levier *o*. Une légère pression sur ce bras de levier suffisait pour dégager le chien et faire partir le coup. Cette pression était effectuée au moyen de l'appareil décrit précédemment (page 240). Le fil qu'on a désigné par les lettres *rr* allait en effet rejoindre le tiroir de laiton *h*, représenté fig. 7 et consistant en une petite bande plate *h' h* qui pouvait se mouvoir dans les deux sens entre deux autres bandes vissées sur la plate-forme, en passant sous une espèce de pont formé par une qua-

trième bande $\mu\mu$. Ce tiroir hh' était maintenu de l'autre côté par le fil t' fixé à un ressort.

Le pont $\mu\mu$ avait dans son milieu une ouverture et le tiroir une ouverture un peu plus grande. Dans la position du repos, l'ouverture du tiroir retenu par le fil t' se trouvait en dehors du pont comme on le voit dans la fig. 4 ; mais au commandement : Feu ! le jeu de la détente s'opérait, le fil rt' était tiré dans le sens de la flèche et cette traction se transmettait au tiroir hh', de manière que son ouverture venait se placer sous celle du pont. A cet instant, le petit poids de plomb q tombait par l'ouverture du tiroir et un fil lâche auquel il était attaché produisait l'explosion en abaissant la petite tige o à laquelle il était suspendu par une boucle. En même temps la boucle glissait sur la tige et le fil se trouvait dégagé.

Nous passons maintenant à la description des mécanismes destinés à agir au moment où la balle sortait du canon et au moment où elle frappait la cible.

(*g*) *Le trébuchet.* — Cet appareil représenté pl. 3, fig. 8, était établi sur la plate-forme de l'affût dans le voisinage du canon. Entre deux supports de laiton $a\,b\,a'$, fixés sur cette plate-forme, les le-

viers d'acier *pp'* et *zg* se meuvent autour des axes *a* et *b*. Le levier *zg* porte en *z* une dent disposée de manière à maintenir le levier *pp'* dans la position horizontale qu'il a dans la figure. Du bras *p'* partait un fil (*a*, *a*, *a* dans la pl. 2, fig. 4) qui, en passant sur plusieurs poulies, allait dans la baraque rejoindre la règle et le crayon n° 1 du chronographe. Le fil était disposé de manière que le levier *pp'* étant horizontal, le ressort *f* de la règle 1, fig. 1, était tendu. Mais à l'instant ou le bras *p* était dégagé de la dent *z*, l'autre bras *p'* était rapidement abaissé par le ressort *f* (Pl. 1, fig. 1), ce qui forçait le crayon n° 1 au brusque mouvement décrit plus haut (page 235).

Le dégagement du bras de levier avait lieu, au moment où le coup partait, par l'effet des gaz qui se précipitaient hors du canon, et cela de la manière suivante :

Près du trébuchet et contre l'affût, ainsi qu'on le voit clairement par la fig. 8, Pl. 3, s'élevait une tige tournante en fer *αβ*, qui portait à sa partie supérieure un disque en tôle. Quand le coup partait, le disque était vivement repoussé dans le sens de la flèche. Le levier *zg* coudé à angle droit en *g* et touchant contre le montant *αβ*, l'était à son tour

dans le sens indiqué en β sur la figure et le bras de levier p était dégagé avec la rapidité de l'éclair.

(*h*) *La cible et le communicateur.* — (*Griletto*). Sur un cadre de bois massif CDE (Pl. 3, fig. 9), porté sur quatre roulettes, étaient fixés par des étais deux forts montants GH, ayant à leur partie supérieure, en *mm*, des coussinets en bronze. C'était le support de la cible. La cible elle-même JJJJ était construite en planches de 6 lignes d'épaisseur et reliée par les bandes RR' à la traverse NN' qui était munie de couteaux en acier trempé. La cible reposait par ces couteaux sur les coussinets *mm* et formait une espèce de pendule qui, malgré son étendue, était très-facile à mouvoir.

Au bas de la cible était fixé un fort crochet à vis K, dont la destination va immédiatement ressortir de la description suivante du communicateur ou du Griletto, comme l'appelaient nos hommes.

Le communicateur (Pl. 3, fig. 10) était un mécanisme de leviers très-simple, fixé sur la charpente CDE. Il avait pour base la pièce de bois AA, et l'on pouvait le faire mouvoir dans le sens ver-

tical ou dans le sens horizontal et le régler à l'aide de vis. Sur la pièce AA se trouvaient d'abord les étaux de laiton aB pour les fils conducteurs $\sigma\sigma'$; ensuite le levier ff' pouvant tourner autour de l'axe f'' et enfin le levier à un seul bras gd, dont l'axe était en g. Ce dernier était en acier et muni d'une dent au moyen de laquelle le levier ff' pouvait être maintenu horizontal (ainsi que cela est représenté dans la figure). Mais la plus légère pression exercée en d suffisait pour dégager le levier ff', lequel poussé par le ressort ss' se relevait vivement en f', tandis que l'appendice e de l'autre bras descendait avec force contre l'étau B. Le ressort ss' était en communication permanente avec l'étau a par la languette de cuivre rr. Des deux fils conducteurs $\sigma\sigma'$, l'un se rendait immédiatement à la pile J (Pl. 2, fig. 4), l'autre allait à l'autre pôle de la même batterie, mais seulement après avoir contourné les bobines de l'électro-aimant L' (Pl. 2, fig, 4). Quand le levier ff' (Pl. 3, fig. 10), se trouvait dans la position horizontale, la communication était évidemment interrompue en e, mais elle se rétablissait et, par conséquent, le courant électrique avait lieu à l'instant où le levier gd était poussé en d. Alors le fer de l'électro-ai-

mant L′ devenait magnétique, il attirait son ancre et en même temps la règle et le crayon n° 3 (fig. 1) ainsi que cela a été expliqué en son temps (pages 235 et 236).

La pression en *d* nécessaire à la formation du courant était opérée par le crochet *k* (fig. 9 et fig. 4). En effet, la cible étant au repos, le Griletto était amené à l'aide de ses vis presqu'en contact avec le crochet *k*, et la secousse produite par le choc de la balle contre la cible suffisait pour dégager le levier. Le déplacement du crayon 3 ayant lieu au même instant, la brisure de la ligne qu'il traçait répondait à l'instant où le projectile atteignait la cible.

La pile J (Pl. 2, fig. 4), consistant en 6 éléments de Bunsen, que j'employai pour cette partie de l'appareil, fournit un courant suffisant pour toutes les distances auxquelles nous opérâmes.

La suite au prochain numéro.

NOTES DU TRADUCTEUR

A ajouter au Mémoire de M. Magnus

SUR LA DÉVIATION DES PROJECTILES

Inséré dans les tomes III et IV (5e série).

NOTE PREMIÈRE.

(Se référant à la page 366, ligne 8, tome III).

Contrairement à l'opinion émise dans le texte, on pense qu'il eût été possible, dès avant la première publication du Mémoire de M. le docteur Magnus, de déduire rationnellement de ce que l'on savait alors des effets de l'air en mouvement (1),

(1) Voir à ce sujet les Considérations que M. Magnus présente un peu plus loin, mais non comme siennes, sur les mouvements d'appel qui se forment dans l'air ambiant autour de tout courant local de cet air; voir aussi ce qui a été inséré en 1826 et 1827, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, et dans les *Annales de chimie et de physique*, à l'occasion d'une communication faite à l'Académie, par M. Clément, et d'un Mémoire de *M. Hachette.*

qu'il devait y avoir *inégalité de pression* sur deux côtés opposés des boulets tournant pendant leur trajet, et par suite, *déviation* du côté où *la pression* était plus faible.

En effet, puisque tout courant d'air détermine une raréfaction sur son trajet, et que cette raréfaction est d'autant plus grande que le courant est plus rapide, il est clair qu'il doit nécessairement y avoir diminution de pression sur le projectile du côté où le sens du courant, déterminé par le mouvement de translation, est le même que celui du courant déterminé par la rotation.

Il n'en est pas de même sur le côté diamétralement opposé du projectile, où les deux mouvements précités de l'air marchent en sens contraires : là, bien qu'on ne puisse pas affirmer, *à priori*, qu'il y aura augmentation de pression relativement à celle qui existait dans l'état de repos, on peut du moins dire, sans crainte de se tromper, que la pression sera plus grande que sur le côté où les deux vitesses de l'air s'ajoutent, etc.

NOTE 2,

(Se référant à la page 370, ligne 9, du tome III).

En cédant au besoin d'exprimer ici tout l'intérêt, disons même, l'admiration que nous inspirent les beaux développements dans lesquels M. le professeur Magnus est entré dans son explication sur la déviation des projectiles sphériques, nous éprouvons aussi celui de consigner dans une note les deux remarques suivantes :

La première, pour reconnaître que s'il est vrai, comme nous l'avons avancé dans la note précédente, que l'on eût pu arriver à cette explication, en s'aidant seulement des notions que l'on avait dès avant 1851, personne du moins ne s'était jusque-là avisé de la donner.

La deuxième, pour rappeler que, dans son mémoire de 1851, l'habile physicien de Berlin a rendu à notre tant regrettable compatriote *Savart* la justice de reconnaître qu'il avait, avant lui, expérimentalement établi le fait de la condensation qui a lieu au choc de deux veines liquides marchant dans une même direction, en sens contraires l'une de l'autre.

NOTE 3.

(Se référant au renvoi de la ligne 17, page 373, du tome III).

Depuis que, par suite des progrès de la physique, il n'est plus permis, pour différencier les liquides d'avec les gaz, quand on veut désigner ces deux classes de corps sous la dénomination commune de *fluides*, d'employer les épithètes *incompressibles* pour les premiers, et *compressibles* pour les seconds, on éprouve, en français, un certain embarras dans le choix des adjectifs propres à établir la distinction entre eux. La langue allemande a, pour ce cas, le mot *tropfbar* (signifiant : *susceptible d'être réduit en gouttes*) par lequel M. Magnus spécifie généralement tous les fluides que la langue française comprend sous la dénomination commune de *liquides*. Par un scrupule, peut-être exagéré, pour conserver la forme sous laquelle l'auteur a exprimé sa pensée, j'ai cru pouvoir hasarder, en français, l'adjectif *aquiforme* pour désigner, en l'ajoutant au substantif *fluide*, un liquide quelconque, et faire ainsi opposition à l'adjectif *aériforme* employé depuis longtemps déjà pour désigner, avec le même substantif, un *gaz* ou *fluide gazeux* quelconque.

Je crois devoir terminer cette note en faisant remarquer que si la langue française manque d'un équivalent à l'adjectif allemand *tropfbar* (car je n'ai pas osé proposer pour tel le mot *globulisable*), la langue allemande, de son côté, manque d'un mot simple équivalent à notre substantif *liquide*.

NOTE 4.

(Se référant à la page 390, ligne 4, du tome III.)

Plusieurs causes concourent à rendre la justesse du tir plus grande dans les armes à feu portatives rayées, qu'elle ne peut l'être, en général, dans les pièces d'artillerie pareillement rayées. La principale tient à ce que les projectiles de plomb des petites armes étant susceptibles, en se renflant sous le choc de la baguette ou sous celui des gaz de la poudre, de remplir exactement le vide de l'âme, il arrive que leur axe de figure se confond de prime abord avec l'axe de rotation, sans compter qu'il ne saurait y avoir lieu à aucun ballotement des projectiles contre les parois de l'âme. Peut-être aussi l'évidement pratiqué dans l'intérieur de ceux de ces projectiles qui sont d'un calibre un peu fort, en vue d'en faciliter le renflement et le forcement, a-t-il en outre quelques avantages particuliers, tels

que d'en augmenter la longueur à poids égal, ou de rendre plus facile à remplir la condition de rapprocher autant que possible le centre de gravité du point d'application de la composante verticale de la résistance de l'air, et en même temps du point de raccordement des parties cylindrique et ogivale.

NOTE 5.

(Se référant à la page 391, ligne 5, du tome III.)

Le mot *cible* (*Scheibe*) employé ici par l'auteur, semble indiquer qu'il parle plus particulièrement d'observations faites sur le tir d'armes à feu portatives.

NOTE 6.

(Se référant à la page 392, ligne 15, du tome III.)

J'ai dit ailleurs, sans le démontrer (1), que dans le tir des projectiles oblongs d'aujourd'hui, sans chocs ni frottements irréguliers contre les parois de l'arme, il existe naturellement, dans les diverses réactions que l'air exerce contre leur surface pen-

(1) Voir ma traduction des *Nouvelles Etudes sur l'arme à feu rayée* de M. de *Plœnnies*, page 474.

dant toute la durée de leur mouvement de translation, des causes qui par leur nature même tendent à en maintenir l'axe couché sur la tangente à la trajectoire du centre de gravité, malgré le changement continuel de direction de cette tangente dû à l'action de la pesanteur, soit que la résistance opposée verticalement de bas en haut à cette action passe ou non par le centre de gravité.

Comme cette proposition pourra paraître incompatible avec celle de l'auteur à laquelle la présente note se réfère, je vais essayer ici d'expliquer comment je conçois que le mouvement de translation de ces projectiles à travers l'air suffit à rendre celui-ci capable de l'effet directeur indiqué, en faisant abstraction, bien entendu, non-seulement des causes de trouble pouvant résulter d'agitations accidentelles de l'atmosphère ; mais encore des effets spéciaux au tir des armes à feu rayées en hélices, donnant lieu au phénomène de la *dérivation*.

L'air agit à la fois, suivant nous, de deux manières distinctes pour diriger le projectile comme il a été dit :

Il agit d'abord par la résistance même qu'il oppose au mouvement de translation, quelle que

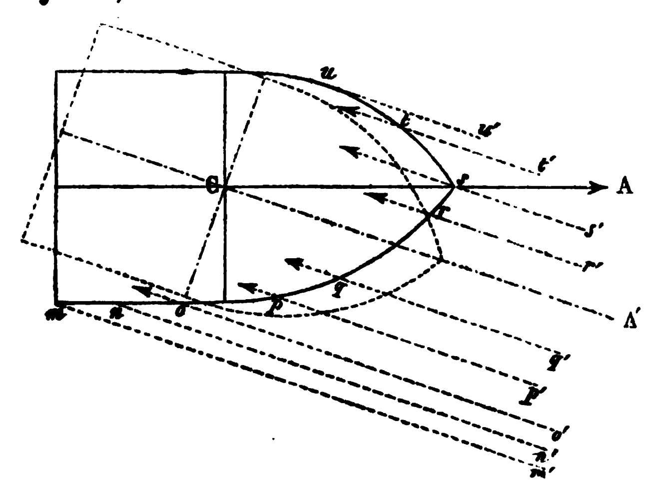
soit la direction actuelle de ce mouvement, et en outre par les courants d'appel qui s'y forment tout autour du projectile, à raison de la raréfaction qu'engendre la grande rapidité de son mouvement.

Plus loin (§ 3), l'auteur nous suggérera lui-même (dans notre note 10), sous le nom d'*influence de l'écoulement de l'air*, une manière d'envisager l'action directrice de l'air sur les projectiles par sa résistance qui diffère, dans la forme du raisonnement, de celle que nous allons développer, mais qui tient aux mêmes principes et a l'avantage de se prêter à des expériences de cabinet. Nous la recommanderons donc, surtout à cause de cette circonstance, à l'attention de nos lecteurs. Cela dit, expliquons, de notre côté, comment nous avons envisagé l'action directrice due à la résistance de l'air au mouvement de translation, ou à ce que nous avons désigné ailleurs, par abréviation, sous le nom de sa *résistance tangentielle*.

Par la nature même des choses, cette résistance produit sur tous les points de la demi-surface inférieure du projectile, et sur presque tous ceux de la partie antérieure de sa surface supérieure, des pressions dirigées parallèlement à la direction du mouvement du centre de gravité, c'est-à-dire pa-

rallèlement à la trajectoire de ce point. Cela posé, si aux différents points d'application de ces pressions parallèles, on décompose chacune d'elles dans leur plan d'incidence, suivant deux directions, l'une tangente, l'autre normale à la surface du projectile, on pourra, dans une première approximation, faire abstraction des composantes tangentielles et ne tenir compte que des composantes normales, sauf à apprécier ultérieurement quel peut être l'effet de l'ensemble des composantes tangentielles.

Maintenant, en jetant un coup d'œil sur la figure ci-jointe, où :



C représente la position du centre de gravité du

projectile, à la fin d'un temps quelconque t;

CA la direction de son axe au bout de ce temps;

CA' la direction de la tangente à la trajectoire pendant l'instant infiniment petit consécutif dt, direction faisant *toujours* avec la précédente un angle infiniment petit ACA'; enfin mm', nn', oo', etc., l'ensemble des parallèles à cette dernière direction suivant lesquelles s'exerce l'action de la résistance tangentielle de l'air pendant l'instant dt.

On reconnaîtra sans peine, au moyen de quelques constructions que la petitesse de la figure n'a pas permis d'y représenter :

1° Que toutes les composantes normales des pressions supérieures à l'axe ou à la direction CA tendront pendant l'instant considéré à abaisser la partie antérieure du projectile, et par suite à en relever la partie postérieure.

2° Qu'au contraire, les composantes normales des pressions inférieures à cet axe qui s'exerceront sur la partie antérieure seulement du projectile, tendront à relever cette partie antérieure, probablement même en général avec un peu plus d'énergie qu'il n'en faudrait pour simplement contre-

balancer l'effet des composantes normales sur la partie supérieure.

3° Enfin que toutes les composantes normales des pressions exercées contre la partie postérieure tendront exclusivement à relever cette dernière partie en abaissant du même coup la partie antérieure.

Sans chercher à calculer ce que doit être, pour un projectile donné, la résultante générale des trois groupes d'actions distinctes des composantes normales de la résistance que nous venons de considérer, en tenant compte en outre de la résistance verticale due à l'action de la pesanteur, nous ferons simplement remarquer que cette résultante générale dépend essentiellement de la forme du projectile et de la position de son centre de gravité; et qu'avec les projectiles aujourd'hui usités, où le centre de gravité répond ordinairement très-près du milieu de la longueur et de la naissance de la partie ogivale, l'action relévatrice de la résistance de l'air, dirigée parallèlement au mouvement de translation contre la partie postérieure, doit le plus souvent l'emporter sur le très-faible excès des actions qu'elle exerce en sens contraires contre la partie antérieure, même en ajouant à ce petit excès l'action relévatrice de la résistance verticale de bas

en haut, ordinairement exercée contre cette même partie antérieure.

Il est sans doute superflu de faire observer que, dans tous les cas, l'action directrice de la résistance tangentielle ne saurait jamais par elle-même tendre à abaisser l'axe du projectile au-dessous de la tangente actuelle à la trajectoire, puisqu'à l'instant même où il y arrive les résistances lui sont parallèles.

Que si l'on veut maintenant tenir compte de l'action des composantes tangentielles sur la direction du projectile, en entreprenant de les composer toutes ensemble, il semble qu'on pourrait, pour abréger, comparer cette action à celle d'un frottement qu'il aurait à subir de la part des parois d'une gaine très-flexible dirigée suivant la trajectoire du centre de gravité, frottement qui concourrait, s'il y avait lieu, à agir sur le projectile en sens contraire des causes qui pourraient tendre à l'éloigner d'un côté ou de l'autre de la tangente à cette courbe.

Il est, je crois, inutile d'ajouter ici que l'existence d'une ou plusieurs rainures circulaires sur la partie postérieure du projectile ne pourrait que contribuer à faciliter le relèvement de cette partie

postérieure et, par suite, l'abaissement de la pointe du projectile sur la tangente.

La seconde force directrice capable, à notre avis, de vaincre la double résistance de l'inertie de la matière, d'une part, et une très-faible action relévatrice, d'autre part, due à l'abaissement du projectile par l'attraction terrestre, cette seconde force, dis-je, n'est autre chose que la résultante générale des actions latérales convergeant toutes vers la tangente à la trajectoire, produites par l'impulsion des courants d'appel qui s'établissent toujours dans l'air ambiant autour de l'axe d'un courant rapide, par suite de la raréfaction engendrée sur tout le trajet de ce courant. On ne saurait, en effet, douter que le passage, à travers l'air, d'un projectile lancé par la poudre, ne doive déterminer un pareil courant, d'abord par la percussion de sa partie antérieure, et ensuite par le frottement de toute sa surface latérale. Il doit donc se former, selon nous, sur tout le trajet du projectile une suite de courants d'appel convergeant de tous les points d'alentour vers la trajectoire du centre de gravité, qui représente la direction du mouvement, et dont la résultante générale ne peut que tendre à ramener l'axe du projectile vers la tangente.

NOTE 7.

(Se référant à la page 393, ligne 7, du tome III.)

On croit reconnaître, dans le raisonnement qui termine l'alinéa, les idées qui ont conduit, en Prusse, à choisir, pour la balle du fusil à aiguille, la forme particulière qu'on lui a donnée, d'après laquelle le centre de gravité paraît devoir se trouver quelque peu en avant du point d'application de la résultante des forces parallèles et verticales engendrées par la résistance de l'air à l'abaissement du projectile dû à la pesanteur. (Voir *Nouvelles Études sur l'arme à feu rayée*, par M. *de Plœnnies*, page 484, de la traduction française, ou *Journal des Armes spéciales*, tome III, page 263.)

NOTE 8

(Se référant à la page 395, ligne 3, du tome III.)

Pour qu'il fût possible de tirer des conséquences plus précises et plus utiles de ces observations, il aurait fallu qu'elles fussent accompagnées de détails descriptifs sur la construction des projectiles employés, propres à fournir des renseignements au moins approximatifs sur la position plus ou moins

avancée tant du centre de gravité que du point d'application de la résultante de la résistance verticale de l'air due à l'action de la pesanteur.

Cependant, malgré l'absence de tout renseignement de ce genre, nous croyons devoir indiquer quelques inductions que ces observations nous suggèrent, en nous plaçant au point de vue adopté dans la note 6.

1° En voyant que, dans un tir à charges assez faibles pour que tous les observateurs aient pu distinctement reconnaître la position de l'axe du projectile pendant son trajet, cet axe a été aperçu ***très-près de la tangente***, même à l'arrivée au but, malgré la grande courbure que devait avoir la trajectoire pour que la pointe du projectile frappât en premier le sol, on est amené à penser qu'il n'est pas besoin d'une bien grande vitesse du mouvement de translation du projectile pour engendrer soit les effets directeurs attribués, dans la note 6, à la résistance que l'air oppose à ce mouvement, soit ceux que l'on y a indiqués comme devant résulter de l'afflux de l'air ambiant dû à la raréfaction produite autour du projectile tout le long de son trajet. Il semble donc assez plausible de penser qu'avec les mêmes projectiles ***tirés avec des***

charges de guerre, on aurait obtenu, de l'action des causes directrices mentionnées, de plus puissants effets encore, par suite desquels ces projectiles se seraient rapprochés davantage de la tangente à la trajectoire, ou bien que d'autres projectiles d'une construction moins avantageuse auraient pu néanmoins être amenés par ces mêmes causes à se maintenir plus ou moins approximativement couchés sur cette tangente, nonobstant ce que leur construction aurait laissé à désirer.

2° La dérivation des projectiles vers la droite, observée surtout au point de chute, tend à corroborer l'opinion qu'il y a eu réellement pendant tout le trajet (selon nous, par les causes indiquées dans la note 6), rotation du projectile autour d'un axe horizontal passant par le centre de gravité, de haut en bas dans la partie antérieure, et de bas en haut dans la partie postérieure, malgré une action probablement en sens contraire qu'exerçait la résistance verticale de l'air contre l'abaissement de l'ensemble du projectile par la pesanteur. Il semble, en effet, qu'on ne puisse expliquer le petit écart qui a été observé au-dessus de la tangente à la trajectoire, entre cette tangente et l'extrémité antérieure de l'axe du projectile, que par une action

relévatrice de la résistance du côté de la pointe et un abaissement du côté de la base, action combattue, il est vrai, par les forces directrices indiquées, mais non toutefois sans avoir neutralisé une partie de l'effet de ces forces, Ainsi s'expliquerait très-bien en même temps la déviation de l'extrémité antérieure du projectile vers la droite et consécutivement celle de la trajectoire dans le même sens, comme le lecteur le comprendra mieux après avoir pris connaissance de ce qui suit de près dans le texte, ou encore en s'appuyant des notions théoriques sur la composition de deux mouvements rotatoires simultanés, tels qu'étaient ceux qui animaient réellement les projectiles de l'expérience de Berlin. (Voir la note 9.)

3° Les réflexions qui précèdent nous paraissent mériter assez d'attention pour engager à tenter de nouvelles expériences propres à vérifier notre théorie. Dans ces nouvelles expériences, il conviendrait de faire varier non-seulement la construction des projectiles pour étudier l'influence de la position du centre de gravité et celle de la forme de la partie antérieure, mais encore la courbure des rayures, en allant jusqu'à essayer des rayures droites, en vue de supprimer tout à fait le

mouvement de rotation autour de l'axe du projectile, et d'obtenir par-là, s'il était possible, un tir sans dérivation aucune ni à droite ni à gauche.

Si ces expériences confirmaient notre manière de voir, il y aurait alors bien des petites observations de détail à présenter contre plusieurs passages du texte ultérieur du mémoire, que nous croyons devoir pour le moment passer sous silence, mais qui n'échapperont pas à l'attention de tout lecteur qui se placerait au même point de vue que nous.

NOTE 9.

(Se référant à la page 398, ligne 4, du tome III.)

Les expériences de ***Bohnenberger***, pour rendre sensibles à la vue les effets de la composition de deux actions rotatoires simultanées sur un même corps autour de deux axes distincts, se coupant entre eux, remontent à l'année 1811, et le Mémoire théorique de ***Poisson***, sur la même matière, à l'année 1813. Mais dès 1804, ***Poinsot***, autre grand géomètre français, qui avait fait une étude approfondie des mouvements rotatoires, en les envisageant d'un point de vue à lui particulier, avait déjà publié sa belle théorie de la composition des cou-

ples de forces égales et parallèles entre elles, mais non directement opposées. Cette théorie, il l'a depuis successivement étendue dans diverses réimpressions de son livre, mais principalement dans un Mémoire éminemment remarquable qu'il a lu à l'Académie des sciences, le 19 mai 1834, mémoire publié alors sans les développements mathématiques dont il était le résumé, mais qui a été reproduit plus tard avec tous les développements qu'il comporte, d'abord en 1851, dans le *Journal des mathématiques pures et appliquées*, de M. *Liouville*, ainsi que dans un livre publié à part ; et ensuite en 1852, dans la *Connaissance des temps pour* 1854, et aussi sous forme d'ouvrage spécial.

C'est dans le Mémoire de 1834, et par conséquent aussi dans ceux de 1851 et de 1852, que le lecteur pourra voir nettement exprimé le théorème du parallélogramme de deux forces de rotation données, agissant sur un même corps autour de deux axes de directions données s'entrecoupant, parallélogramme dont la construction fait immédiatement connaître la direction de l'axe de la rotation résultante, ainsi que l'énergie de cette rotation résultante.

NOTE 9 *bis*.

(Se référant à la page 404, ligne 8, du tome III.)

J'avoue, en toute humilité, que je ne comprends pas nettement ni comment, dans la pensée de l'auteur, aurait pu se produire le mouvement de la pointe du projectile vers la droite, dans les circonstances qu'il indique, ni les faits par lui observés dans ses expériences de cabinet qu'il décrit aux pages qui suivent. Pour moi, en ce qui regarde les expériences de tir de Berlin, le transport de la pointe du projectile vers la droite ne saurait s'expliquer, en théorie, que par la composition d'une rotation *dextrorsum* autour de l'axe longitudinal, produite par les rayures de la bouche à feu, avec une rotation de haut en bas, en avant, autour de l'horizontale perpendiculaire à l'axe passant par le centre de gravité, rotation produite par l'action prépondérante de la résistance tangentielle de l'air déterminant le relèvement de la partie postérieure du projectile, et conséquemment l'abaissement de sa pointe, nonobstant la tendance inverse qui résultait de la position trop avancée du point d'application de la résistance verticale, par rapport à celle du centre de gravité.

A l'égard des expériences de cabinet, je serais tenté de croire que les résultats indiqués tenaient à la forme particulière du corps employé comme simulacre d'un projectile, sinon peut-être à quelque circonstance importante et non exprimée de l'expérience.

Puissent ces réflexions et celles qui ont été présentées dans les notes 6 et 8, engager M. le docteur Magnus, d'une part, à reprendre ses expériences de cabinet dans des circonstances variées, et, d'autre part, en usant du haut crédit scientifique dont il jouit, à solliciter de nouvelles observations de tir sur les projectiles oblongs, dans lesquelles on aurait pareillement égard, autant que possible, aux réflexions contenues dans les notes précitées.

NOTE 10.

(Se référant à la page 139, ligne 13, du tome IV.)

L'expérience de la plaque mobile autour d'un axe de rotation passant par son centre de gravité, et qui se place toujours perpendiculairement à la direction du courant d'air qui l'enveloppe de toute part, cette expérience, dis-je, suggère naturelle-

ment la pensée d'en tenter une analogue sur un corps de la forme d'un projectile, et qui, si elle réussissait, serait éminemment propre à mettre en pleine évidence l'action directrice attribuée, dans la note 6, à la résistance que l'air exerce contre le mouvement de translation. On pense, en effet, qu'en suspendant dans l'appareil de *Bohnenberger*, au centre commun de ses deux anneaux mobiles, un corps de la forme d'un projectile dont l'axe ferait un très-petit angle avec l'axe du courant d'air dirigé sur lui, un angle analogue par sa petitesse aux angles de contingence des tangentes à la trajectoire, l'effet de ce courant qui frapperait la surface du projectile sous ladite obliquité serait toujours ou d'abaisser ou de relever l'axe du corps, pour le ramener dans l'axe même du courant, à chaque nouvelle position que l'on aurait donnée à cet axe, selon que la direction de celui-ci serait ou montante ou descendante par rapport à l'extrémité antérieure de l'axe du corps.

A la vérité, je ne vois pas nettement quelle disposition l'on pourrait adopter pour réaliser commodément cette expérience. Mais ce qui est une difficulté pour moi n'en serait certainement pas une pour l'esprit inventif et ingénieux de M. le

docteur Magnus, porté par goût vers les recherches physiques, et qui a déjà donné tant de preuves de son habileté expérimentale et des ressources qu'il sait trouver dans sa sagacité et son imagination.

NOTE 11.

(Se référant à la page 149, ligne 19, du tome IV.)

Les réflexions de l'auteur, dans les deux pages qui suivent le présent renvoi, porteront peut-être le lecteur à douter qu'il y ait opportunité à essayer (comme nous l'avons proposé dans la note 8) l'emploi de rayures droites, en vue de supprimer le mouvement de rotation des projectiles autour de leur axe longitudinal, cause principale de la dérivation. On pourrait craindre, en effet, en supprimant cette rotation, de retomber dans les irrégularités de tir inhérentes à diverses imperfections de la construction des projectiles, inévitables dans la fabrication en grand. Mais c'est précisément le plus ou moins d'importance de ces causes d'irrégularités qu'il semblerait bon d'expérimenter, comparativement aux avantages que l'on espérerait retirer de la suppression de la dérivation.

D'ailleurs toutes les espèces de projectiles ne

sont pas également sujettes à ces imperfections, et ce serait déjà un certain avantage que l'on aurait obtenu, si l'on arrivait à reconnaître de pouvoir supprimer la courbure des rayures dans certaines armes tirant des projectiles d'une certaine espèce. Je m'arrête, car ce n'est pas ici le lieu d'entrer dans de plus grands développements sur ce sujet.

NOTE 12.

(Se référant à la page 147, ligne 9, du tome IV.)

Nous croyons devoir ajouter à la liste des appareils à rotation cités par l'auteur, celui qui est décrit sous le nom de *rotascope*, dans les *Éléments de cosmographie*, de M. *B. Sainte-Preuve* (Paris, 1857). Cet appareil servait déjà, en 1831, à un savant Américain, nommé *Johnson*, professeur à Philadelphie, à exécuter un grand nombre d'expériences curieuses sur les effets de la rotation, rapportées dans le livre français cité plus haut, d'après le journal américain *Of Sciences and Arts*, de janvier 1832.

MOUVEMENT ET DÉVIATION

DES

PROJECTILES OBLONGS

INFLUENCE DE LA POSITION DU POINT D'APPLICATION DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR, RELATIVEMENT A CELLE DU CENTRE DE GRAVITÉ, SUR LES CHANGEMENTS DE POSITION DE L'AXE DE ROTATION ; CONSÉQUENCES QUI EN DÉCOULENT QUANT A LA CONSTRUCTION DES PROJECTILES ET DES BOUCHES A FEU,

Par **André BUTZKY**, lieutenant en premier, attaché au comité R. et I. de l'artillerie autrichienne, avec deux planches lithographiées; publié à Vienne, en 1861, et traduit en français par **RIEFFEL**, ancien professeur des Écoles impériales d'artillerie.

AVANT-PROPOS.

Dans l'état de bouleversement où sont aujourd'hui tous les systèmes de bouches à feu, par suite de l'adoption précipitée de canons rayés, la construction des projectiles allongés que l'on y emploie ne saurait manquer d'attirer sur elle l'intérêt général. N'ayant trouvé jusqu'ici dans les ouvrages publiés sur le mouvement et les déviations de ces projectiles, que des notions très-superficielles, et souvent

des assertions ou des opinions erronées, j'ai été amené à publier le présent opuscule, où sont consignés les résultats de mes réflexions sur cette matière.

Voulant mettre l'intelligence de ces résultats à la portée du plus grand nombre possible de lecteurs, j'ai évité d'employer dans leur exposition toute considération inutile, tout calcul transcendant ; ne faisant usage, dans ce que j'ai eu à dire sur la théorie du mouvement et de la déviation des projectiles oblongs, que d'une méthode facile à comprendre, basée sur les principes les plus élémentaires de la mécanique rationnelle, et le plus souvent sur le théorème du parallélogramme des forces ; admettant cependant dans mes lecteurs la connaissance de la forme de la trajectoire ordinaire des projectiles sphériques ; m'attachant enfin à déduire de mes résultats des conséquences utiles à la pratique.

Quoiqu'il ne m'ait pas été donné de pouvoir consacrer à l'exécution de ce travail tout le temps qui m'aurait été nécessaire pour l'amener à un certain degré de perfection, je crois cependant que, tel qu'il est, le présent mémoire est susceptible d'atteindre le principal objet que j'avais en vue en l'é-

crivant, celui de rectifier quelques idées fausses, de réfuter certaines assertions vagues, enfin de susciter de nouvelles méditations notamment en ce qui regarde la construction des projectiles d'après des règles fixes.

Vienne, avril 1861.

§ 1.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA ROTATION ET LA DÉVIATION DES PROJECTILES OBLONGS.

L'impossibilité où l'on a été jusqu'ici d'obtenir de longues portées jointes à beaucoup de justesse et de force de percussion, autrement qu'avec des canons rayés tirant des projectiles oblongs, terminés en pointes à l'avant, et tournant autour de leur axe longitudinal, a conduit les constructeurs de bouches à feu à tenter les plus grands efforts pour arriver au maximum d'amélioration de la construction de ces canons rayés. On doit surtout aux ingénieurs anglais d'avoir réussi à faire des canons qui, s'ils n'ont pas pour eux le mérite de la simplicité, ont du moins (construits comme ils le sont avec toutes les ressources des arts mécaniques et de l'industrie) celui de laisser loin derrière eux tout ce qui a été fait jusqu'ici dans ce genre. On pourrait penser d'après cela, qu'il ne reste désormais rien, ou presque rien, à désirer en ce qui regarde la construction des bouches à feu. (1) Cependant, lorsqu'on

(1) Voir une note du traducteur à la fin du Mémoire.

vient à réfléchir qu'il se produit dans le tir des projectiles oblongs avec des canons rayés en hélices, où ils contractent un mouvement de rotation autour de leur axe longitudinal, certains effets non encore suffisamment expliqués; que par conséquent de nouvelles études, amenant de nouveaux éclaircissements sur ces effets, pourraint bien conduire non-seulement à tirer un parti utile de leur influence, mais encore à *construire les projectiles de telle sorte qu'il devînt possible d'atteindre précisément par ce seul moyen le but que l'on a en vue*, on comprend que, provisoirement, la question à traiter, en premier, ne soit plus celle de la construction des bouches à feu, ni même celle de la détermination de la trajectoire, mais bien plutôt celle d'arriver à avoir des idées parfaitement nettes et précises sur les circonstances influentes dont on vient de parler. Tel est le point de vue où nous nous sommes placé en entreprenant le présent travail.

A ce point de vue, la construction des projectiles doit devenir, dans un avenir prochain, une nouvelle source d'amélioration des effets des bouches à feu; jusqu'à présent on ne s'est encore occupé de cet important sujet que d'une manière trop superfi-

cielle, car on peut dire de toutes les constructions de projectiles jusqu'ici proposées, qu'elle n'ont été basées plus ou moins que sur le pur empyrisme. Et pouvait-il d'ailleurs en être autrement, tant qu'on ne connaissait pas encore suffisamment la manière dont les projectiles se comportent pendant leur mouvement. Cela est si vrai qu'aujourd'hui encore, on voit même des personnes du métier émettre des théories tout à fait erronées sur la rotation et la déviation. Sans doute, on a toujours admis que les projectiles oblongs ne tournaient qu'autour de leur axe longitudinal. Mais lorsqu'on vint à reconnaître que cet axe longitudinal tournait lui même pendant le trajet autour d'une autre ligne en décrivant un cône, dont cette nouvelle ligne est l'axe, les idées sur la rotation s'embrouillèrent par suite de l'erreur que l'on commit en s'imaginant que le projectile n'en continuait pas moins pour cela de tourner en même temps autour de son grand axe. On admettait ainsi la co-existence de deux rotations simultanées du même corps autour de deux axes différents, la première comme engendrée par les rayures de la pièce, et la seconde comme produite par le vent du projectile dans l'âme, et aussi par la résistence de l'air.

On allait enfin jusqu'à trouver une confirmation de cette manière d'expliquer les choses dans les phénomènes de rotation dont il sera parlé aux §§ 20 et 21. Mais de même qu'une nacelle cherchant à traverser une rivière perpendiculairement au fil de l'eau, ne suit jamais ni la direction perpendiculaire que la force des rames tend à lui imprimer, ni la direction du courant sous la seule impulsion de ce courant, mais arrive toujours à la rive opposée suivant la diagonale du parallélogramme construit sur les deux forces qui la sollicitent ; de même et par des lois analogues, un projectile mu librement dans l'air, ne saurait être animé simultanément d'un mouvement primitif de rotation autour de son grand axe, et d'un autre mouvement rotatoire produit par la résistance de l'air autour d'un axe différent. A la place de ces deux mouvements rotatoires simultanés, il en contracte un effectif auquel seul il obéit, et qu'on pourrait appeler *mouvement de rotation résultant*, lequel a lieu autour d'un nouvel axe qui se détermine de la même manière que la diagonale suivie par la nacelle. Faisons remarquer encore que, de même qu'une personne placée dans la nacelle peut, pendant qu'elle est entraînée malgré elle, suivant

la diagonale dont il a été question, circuler librement dans toute l'étendue de la nacelle, de même un corps tournant autour d'un axe fixe suspendu, par exemple, entre deux pointes d'acier dans l'intérieur d'un cadre, où il ne peut se mouvoir qu'autour de cet axe, peut cependant participer en même temps à tous les mouvements que l'on imprimerait au cadre de suspension.

Que si la personne ou le corps deviennent libres, tous deux doivent, étant placés dans des circonstances semblables à celles de la nacelle ou du projectile, se mouvoir aussi d'après les mêmes lois.

Il n'a encore été fait jusqu'à ce jour d'autres recherches pour étudier l'influence de la rotation sur la déviation des projectiles sphériques, que les expériences si ingénieuses de M. le professeur Magnus; rien jusqu'ici n'a été tenté qui puisse mettre les mathématiciens à même d'établir des équations d'où l'on pourrait déduire la valeur numérique de la déviation en fonction des données relatives à la rotation et à la résistance de l'air.

Quant à l'influence que la position du point d'application de la résistance de l'air, relativement à celle du centre de gravité, exerce sur le change-

ment de direction de l'axe de rotation des projectiles oblongs, les explications dont elle a été l'objet dans divers mémoires publiés sur la trajectoire, les déviations, etc., des projectiles, sont ou partiellement ou tout à fait contradictoires entre elles. C'est pourquoi nous en donnerons nous-même une théorie rationnelle à l'aide de laquelle on pourra, dans chaque cas particulier, résoudre les questions que l'on aura en vue, en s'aidant des quelques résultats d'expériences dont on dispose, et des lois connues de la physique et de la mécanique.

§ 2.

PROJECTILES SPHÉRIQUES. — AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS QUI LEUR SONT PROPRES.

La forme sphérique est, pour les projectiles à qui on la donne, la source de quelques avantages que nous allons énumérer :

1° Elle simplifie le forage des bouches à feu, parce qu'elle n'exige pour l'âme que des parois unies à section transversale circulaire ; une surface cylindrique restant toujours tangente à la sphère qu'elle enveloppe.

2° La sphère est de tous les corps celui qui présente le plus grand volume sous la même surface.

3° La courbure de sa surface présente partout un écoulement facile à l'air qu'elle pousse devant elle.

4° Le milieu résistant à un corps sphérique agit toujours sur une égale surface, quel que soit le côté de la sphère qui se présente à son action : et si la masse est homogène, le centre de figure se confond avec le centre de gravité.

5° Ce n'est que sous la forme sphérique que les projectiles peuvent présenter une certaine régularité d'effets dans les tirs roulant et à ricochet.

Mais, à d'autres égards, la forme sphérique a aussi pour les projectiles divers inconvénients ; savoir :

1° A cause de la nécessité du vent, les projectiles en se mouvant dans l'âme des bouches à feu, y produisent des traînements et des battements qui dégradent les pièces.

2° En outre, ces effets deviennent ensuite la cause première de mouvements rotatoires persistants en dehors de l'âme et qui tantôt se font concentriquement, tantôt excentriquement selon que le centre de gravité par lequel passe la direction du

choc coïncide ou ne coïncide pas avec le centre de figure.

3° Dans le tir, les projectiles sphériques donnent lieu à de grandes inégalités dans la direction et dans l'étendue des portées, par suite de leurs battements dans l'âme et des mouvements de rotation qui en découlent dans toutes sortes de sens. (2)

4° Leur volume et leur masse nécessairement limités par leur diamètre, sont par conséquent aussi toujours renfermés entre des limites fixes, et il en est de même de leur quantité de mouvement pour une vitesse initiale déterminée; d'où il résulte qu'ils ne sauraient, à cause de la résistance de l'air, avoir que des portées fort peu étendues.

En vue de remédier, au moins en partie, aux inconvénients des projectiles sphériques non susceptibles d'être prévus, on a essayé de régulariser leur placement dans l'âme des bouches à feu, en s'arrangeant de manière que leur centre de gravité fût toujours placé d'un même coté par rapport au fond et aux parois latérales de l'âme. Par là, on devenait en effet maître, surtout avec les projectiles construits à dessein excentriquement, de produire une rotation autour d'un axe très approxi-

(2) Voir la note 2 du traducteur à la fin du Mémoire.

mativement connu d'avance. Toutefois, comme la grandeur de l'excentricité, et par conséquent la vitesse du mouvement rotatoire, variaient toujours beaucoup d'un projectile à un autre, on n'en continuait pas moins, malgré ce soin, d'observer encore de grandes différences dans les portées des coups successifs. Ajoutons que la détermination préalable de la position du centre de gravité des projectiles, au moyen de l'observation de leurs pôles, ainsi que les soins à apporter dans le chargement de ces projectiles polarisés, étaient des opérations par trop longues et trop minutieuses pour les besoins de la pratique.

D'un autre côté, on n'a jamais pu réussir à prévenir sciemment toute rotation de projectiles sphériques, parce que, même en supprimant complètement le vent, il n'était pas possible d'être sûr que leur centre de gravité coïncidât avec leur centre de figure.

§ 3.

PROJECTILES ALLONGÉS ET CANONS RAYÉS.

Lorsqu'il fut bien reconnu que les déviations des projectiles sphériques étaient un effet de leur ro-

tation, chacun dut bientôt concevoir la pensée ou de leur substituer d'autres projectiles n'ayant aucun mouvement rotatoire afin qu'ils ne sortissent jamais de leur plan vertical de projection, ou, s'il était impossible d'empêcher toute espèce de rotation, de faire en sorte qu'ils ne pussent du moins tourner qu'autour d'un axe déterminé.

La régularité du mouvement des traits et des flèches qui, comme on sait, conservent exactement leur direction sans tourner; et la forme pointue de leur partie antérieure, grâce à laquelle ils fendent plus facilement l'air, durent donner l'idée de construire et d'éprouver des projectiles allongés en pointe à l'avant. Mais les expériences qui furent faites dans ce sens avec des canons unis ont prouvé que les projectiles tirés de cette manière se retournent sens devant derrière, en tournant par conséquent autour d'un axe transversal, et que par suite de cette fâcheuse rotation et de l'augmentation de résistance qu'ils en éprouvent de la part de l'air, la régularité de leur tir et l'étendue de leur portée sont beaucoup moindres qu'avec les projectiles sphériques.

Restait donc l'expédient de faire tourner les projectiles autour d'un axe déterminé. Or nul axe

de rotation ne convenait mieux à cet effet que l'axe de figure préalablement amené à coïncider avec celui de l'âme et, par conséquent, à se trouver dans le plan vertical du tir, soit en refoulant la matière molle du projectile (le plomb) dans le sens longitudinal, soit en la dilatant par expansion dans le sens transversal, parce que ce premier point arrêté, il n'y avait plus qu'à pourvoir les parois de l'âme de rayures en hélices destinées à être remplies, dans l'un ou l'autre cas, par le métal refoulé du projectile, de manière à forcer celui-ci à n'avancer dans l'âme qu'en tournant autour de son axe.

Les balles sphériques, et mieux encore, les balles allongées en pointe à l'avant, tirées de cette manière, sans aucun vent et en tournant, produisirent dans les armes portatives, sous le rapport des portées et de la justesse de tir, des effets tout à fait inattendus, tenant en quelque sorte du prodige.

Pour tâcher d'en obtenir d'analogues de projectiles oblongs de fonte de fer, tirés dans des pièces d'artillerie, on a essayé d'abord de leur imprimer le mouvement rotatoire en pratiquant dans leur épaisseur, autour de leur axe longitudinal, soit des rainures (Einschnitte), soit des canaux (Canæle) spiraliformes sur les parois desquels les gaz de la

poudre devaient, en les traversant pendant leur rapide expansion, produire l'effet désiré. Mais cet effet! ou il n'avait pas lieu du tout, ou il ne se produisait que d'une manière insuffisante; et ce ne fut que quand on en vint à rayer les pièces elles mêmes, que l'on réussit, après plusieurs essais, à diriger les gros projectiles de fonte de fer le long des rayures, et à les faire tourner autour de leur axe en leur adaptant des saillies conductrices, d'un métal moins dur que la fonte et s'engrenant dans les rayures des pièces, ou encore, en recouvrant les projectiles de fonte d'une enveloppe de plomb qui pénétrait dans les rayures, soit par voie de compression, soit par voie d'expansion.

§ 4.

PHÉNOMÈNES OBSERVÉS DANS LE TIR DES PROJECTILES OBLONGS TOURNANT AUTOUR DE LEUR AXE LONGITUDINAL.

L'expérience prouve que lorsque la construction des projectiles, l'inclinaison des rayures, et les charges de poudre ont été convenablement réglées, les projectiles oblongs fournissent des portées

d'une grande régularité, sans rester cependant dans le plan vertical du tir, mais n'en sortant toujours que dans le même sens, et d'une manière si uniforme, si régulière, que les déviations latérales qui en résultent sont en quelque sorte constantes, toutes les fois que l'on tire aux mêmes distances; en sorte qu'il devient possible de les corriger presque exactement par le seul soin de tenir compte de la déviation en pointant convenablement de côté. On a aussi reconnu que les portées des projectiles oblongs sont de beaucoup plus étendues que celles des projectiles sphériques de même calibre, et que leur force de percussion ou leur force vive est des plus grandes. Cette régularité des portées et de la justesse de tir dans les circonstances indiquées, ne saurait provenir que de ce que la rotation des projectiles oblongs se fait constamment dans le même sens, et de ce que leurs déviations hors du plan vertical de tir ont aussi toujours lieu du même côté et sont à peu près les mêmes pour la grandeur.

Presque partout, la courbure donnée aux rayures des canons est dirigée de gauche à droite pour un observateur placé du côté de la culasse, et qui les regarderait à la paroi supérieure de l'âme.

Toutes les déviations des projectiles oblongs que l'on a observées jusqu'ici dans ces circonstances, ont toujours été vues du côté droit du plan vertical de tir, et toujours grandissant à mesure que la distance atteinte augmente. Cette déviation particulière a reçu le nom de *dérivation*, et l'on a conclu des résultats du tir : qu'avec les projectiles oblongs le sens de la dérivation est toujours déterminé par celui de l'enroulement des rayures, ne dépendant absolument que de cette circonstance.

On a été pendant longtemps porté à croire que les projectiles oblongs tournant autour de leur axe arrivaient toujours au but, la pointe en avant. La vérité est que les choses se passent en effet ainsi, dans le cas des projectiles munis d'une amorce fulminante à leur extrémité antérieure, lorsque le choc a lieu contre un but vertical ; mais il n'en est pas de même quand ils touchent le sol : dans cette dernière circonstance, ou l'amorce ne brûle pas, ou bien l'explosion n'a lieu qu'à de rares intervalles.

Dans ces circonstances, la capsule de cuivre garnissant la pointe du projectile est le plus souvent poussée de côté, ce qui prouve bien que le projectile ne touche pas la terre par sa pointe. On a re-

connu aussi, dans ces circonstances, que le projectile ne reste pas enterré dans le sol, mais continue sa course au-delà de son point de chute, et en relevant un peu sa pointe. Il est donc certain qu'il ne choque pas la terre avec cette pointe, mais par quelque point de sa surface inférieure, ou par son arête postérieure arrondie, ou bien encore par la partie inférieure de l'arrondissement antérieur. Les projectiles qui frappent le sol ne s'arrêtent même pas dans les terres labourées dont les sillons sont dirigés perpendiculairement à la ligne de tir.

Dans les expériences de polygone faites avec des projectiles oblongs incendiaires, ayant d'ailleurs extérieurement la même forme que les autres, on a aussi remarqué que leur pointe décrit pendant le mouvement de translation, une spirale d'autant plus ample qu'ils sont arrivés plus près de l'extrémité de leur trajectoire. Cela se reconnaît nettement soit par les jets de feu qui s'échappent des ouvertures pratiquées autour de la pointe, soit par la fumée qui les accompagne. Ce mouvement rotatoire de la pointe, ou plutôt de l'axe des projectiles, qui, abstraction faite du mouvement de translation, lui fait décrire un double cône, avait, du

reste, été reconnu et expliqué avant les observations dont nous venons de parler, et on l'avait désigné sous la dénomination des *oscillations coniques de l'axe du projectile*.

Il sera démontré dans la suite de ce mémoire que le sens de la dérivation ne dépend pas uniquement du sens de l'enroulement des rayures de l'âme, et qu'il est plus particulièrement déterminé par la position du centre de gravité du projectile, relativement à celle du point d'application de la résultante de la résistance de l'air. Nous ferons voir en même temps que le cône à deux nappes décrit par l'axe de figure du projectile est un effet de l'influence de cette même résistance de l'air sur son mouvement rotatoire. Comme le perfectionnement de la construction des bouches à feu (notamment de celles qui se chargent par la culasse, où le vent du boulet est supprimé), tend de plus en plus à faire prévaloir l'opinion que l'on ne pourrait jamais obtenir de grandes portées régulières des projectiles oblongs qu'avec des canons rayés ; nous aurons à combattre cette opinion, et à appeler l'attention sur un projectile qui, tiré dans un canon lisse, ou n'ayant que des rayures droites, serait susceptible d'atteindre le but sans

rotation, avec la force de percussion voulue, et sans dérivation aucune, ni à droite ni à gauche du plan vertical de tir.

§ 5.

GÉNÉRALITÉS SUR LES FORCES QUI AGISSENT SUR LE PROJECTILE DANS SA TRAJECTOIRE.

Les forces qui agissent sur le projectile pendant son trajet à travers l'air sont : 1° L'impulsion qu'il a reçue des gaz de la poudre sur sa face postérieure pendant qu'il parcourait la longueur de l'âme, et qui lui a communiqué ses vitesses initiales à son arrivée à la bouche ; 2° deux forces qui agissent sur lui pendant toute la durée de son trajet, à savoir : la force de la pesanteur, et la résistance qu'il rencontre de la part de l'air.

Le choc ou plutôt la pression continue des gaz au fur et à mesure de leur développement pendant la combustion de la poudre, pousse le projectile le long de l'âme et lui communique tout à la fois un mouvement de translation dans la direction même de l'axe, et un mouvement de rotation autour de cet axe, le premier par une action immé-

diate ou directe, le second par l'intermédiaire des rayures hélicoïdes de l'âme. Les vitesses respectives de ces deux mouvements augmentent à mesure que le projectile avance dans l'âme et toutes deux atteignent en même temps leurs plus grandes valeurs quand il est arrivé à la bouche, où elles sont ce que l'on appelle ses vitesses initiales de translation et de rotation ; parce que c'est avec ces vitesses qu'il commence son mouvement libre dans l'air. Animé par ces deux vitesses, le projectile, si aucune autre force n'agissait sur lui, devrait se mouvoir indéfiniment dans la direction du prolongement de l'axe de l'âme, et continuer aussi indéfiniment de tourner autour de ce prolongement. Mais, d'une part, la pesanteur est là dont l'action continue et constante l'attire incessamment vers la terre, à partir du moment où il a cessé d'être soutenu dans le canon, et tend à lui faire parcourir une parabole dans le plan vertical de tir. D'autre part, la résistance que l'air lui oppose, suivant la direction de son mouvement, diminue continuellement sa vitesse initiale, et est cause que la courbe réellement décrite, au lieu d'être une parabole devient celle qui a reçu le nom de *courbe balistique* ou *de trajectoire des projectiles dans l'air*,

courbe que nous aurons toujours en vue, toutes les fois que, dans la suite de ce mémoire, nous parlerons de la *trajectoire normale.*

Mais quand les projectiles ont un mouvement de rotation en outre de leur mouvement de translation, l'effet de la résistance de l'air ne se borne pas à diminuer leur vitesse et l'amplitude de leur trajectoire. S'il s'agit de projectiles sphériques, il les fait en outre sortir du plan vertical de tir, le plus souvent dans le sens de la rotation qu'ils ont contractée, c'est-à-dire vers la droite d'un observateur placé en arrière de la pièce, s'ils tournent de gauche à droite en dessus; vers la gauche s'ils tournent en sens contraire. Vers le haut, s'ils tournent du bas en haut en avant; enfin vers le bas, si leur rotation a lieu de haut en bas, toujours dans la partie antérieure. Dans le cas des projectiles oblongs, leur rotation donne lieu, conjointement avec la résistance de l'air, non-seulement à une déviation en dehors du plan de la trajectoire normale, mais encore au balancement conique, ou à l'oscillation conique dont nous avons déjà parlé. Et ici encore, comme avec les projectiles sphériques, la déviation dépend tout à la fois, et du sens de la rotation, et de la construction du projectile,

en ce sens qu'elle dépend de la position de son centre de gravité, relativement à celle du point d'application de la résistance de l'air (1).

A l'égard des déviations des projectiles qui peuvent résulter de vices dans leur construction, par suite desquels il s'y rencontre des défauts de symétrie, ou d'homogénéité, ou bien il arrive que leur axe de figure ne passe pas par le centre de gravité, et que ce dernier point ne répond pas à l'axe de la pièce pendant le mouvement dans l'âme, ou encore que le projectile a du vent et frappe çà et là, les parois de la pièce, etc.; il n'en sera pas autrement question dans ce mémoire, par la raison que ces sortes de déviations ne sont soumises à aucune loi exprimée, qu'elles sont d'ailleurs le plus souvent de moindre importance, et ne sauraient être renfermées dans les limites d'un certain minimum par des soins apportés dans la construction et la fabrication des projectiles.

Attendu que les forces définies dans le présent paragraphe comme intervenant dans la trajectoire normale, sont suffisamment connues, ou censées l'être, et que rien d'ailleurs n'empêche de consi-

(1) Voir la note 8 à la fin du Mémoire.

dérer séparément les uns des autres, les divers mouvements communiqués à un corps, nous allons nous occuper d'abord ici du mouvement de rotation.

§ 6.

MOUVEMENT DE ROTATION ET PARALLÉLOGRAMME DE ROTATION.

La mécanique enseigne que : lorsqu'un corps *ab* (fig. 1re) est mu par une force UW (pouvant d'ailleurs être la résultante de plusieurs autres), ne passant pas par le centre de gravité S du corps, celui-ci en reçoit simultanément deux mouvements distincts : d'une part, il tourne autour de son centre de gravité comme si ce point était fixé d'une manière invariable ; d'autre part, ce centre de gravité est emporté dans l'espace comme si les forces avaient agi immédiatement sur lui, avec leurs grandeurs et les directions.

D'après cela, lorsqu'un projectile se meut à travers l'atmosphère et que la résultante des résistances qu'il en éprouve ne passe pas par son centre de gravité, ce projectile doit nécessairement :

1° Tourner ou tendre à tourner autour de son

centre de gravité, sous l'action de cette résistance;

2° Etre ralenti dans son mouvement de translation de la même manière que si l'action tout entière de la résistance s'exerçait immédiatement sur le centre de gravité.

Comme tout projectile tiré dans un canon rayé possède de prime abord un mouvement de rotation autour de son axe longitudinal supposé passer par son centre de gravité, on comprend qu'il ne saurait obéir immédiatement à la force rotatoire que la résistance de l'air tend à lui imprimer autour d'un autre axe passant aussi par le centre de gravité; mais alors il doit, du même coup, cesser aussi de tourner autour de son axe longitudinal, et il se produit, par l'influence réciproque des deux mouvements rotatoires, une *rotation résultante* autour d'un axe situé quelque part entre les deux axes de rotation composants.

Supposons, par exemple, que le corps représenté par la figure 2, soit sollicité à la fois par deux forces tendant, l'une à le faire tourner autour de l'axe AB, et l'autre à le faire tourner autour de l'axe DE, coupant le premier axe en C; il est clair qu'il n'y aura, en réalité, de rotation ni autour de AB ni autour de DE, et qu'il s'en produira une au-

tour d'un autre axe passant nécessairement par le point C, qui lui, n'est sollicité à changer de place ni par l'une ni par l'autre des deux rotations composantes. Ssoient ω et ω' les vitesses angulaires imprimées par les forces qui tendent à faire tourner le corps autour de AB et autour de DE respectivement; pour trouver l'axe de la rotation résultante, il suffira de porter sur les deux axes des rotations composantes, à partir de leur point d'intersection C, les longueurs CF, CG, proportionnelles aux vitesses angulaires ω et ω', dans un sens tel qu'un observateur placé en C voie les deux rotations se faire dans un même sens autour de leurs axes respectifs, par exemple de droite à gauche, en regardant pour l'une vers E, pour l'autre vers B; et ensuite, de construire le parallélogramme CGHF sur les deux côtés CF, CG; la diagonale CH de ce parallégramme représentera la direction de l'axe de la rotation résultante autour duquel le corps tournera dans le sens ci-dessus indiqué pour un observateur placé en C et regardant vers H; et en outre, la longueur CH sera proportionnelle à la vitesse angulaire de la rotation résultante (*).

(*) Voici la démonstration de ce théorème : Dans nos hy-

§ 7.

RÉSISTANCE DE L'AIR ENGENDRÉE PAR LA ROTATION ET DÉVIATION LATÉRALE DES PROJECTILES, QUI EN RÉSULTE.

Concevons un projectile oblong tournant autour de son axe longitudinal sans changer de place, au

pothèses, le point H du parallélogramme CGHF est soulevé pendant l'unité de temps par la rotation autour de AB, d'une quantité exprimée par ω.HJ au-dessus du plan BCE, et abaissé, dans le même temps, par la rotation autour de CG, d'une quantité ω'HK au-dessous de ce même plan. Par suite de la similitude des triangles HFJ et HGK, on a

$$\frac{HJ}{HK} = \frac{HF}{HG} = \frac{CG}{CF} = \frac{\omega'}{\omega};$$

d'où résulte :

$$\omega HJ = \omega' HK.$$

Comme les mesures ωHJ et ω'HK des chemins simultanément parcourus en sens contraires par le point H perpendiculairement au plan BCE sont égales entre elles, il s'ensuit que le point H ne change en réalité pas de place, ou reste immobile et doit être un des points de l'axe résultant, lequel, par conséquent, doit être la ligne CG elle-même autour de laquelle tourne le corps sollicité par les forces indiquées.

La grandeur de la vitesse Ω de la rotation résultante s'obtient en considérant que, dans l'unité de temps, le point F du corps ne change pas de place par l'effet de la rotation autour

milieu d'une masse d'air en repos; les particules d'air en contact avec la surface de ce projectile, et celles qui y confinent seront entraînées dans le mouvement rotatoire et y participeront. Mais dans les circonstances indiquées, il n'y aura pas de raison pour que le projectile en éprouve aucune pression latérale plus forte d'un côté que d'un autre, et susceptible d'occasionner aucun changement dans la position de son axe de rotation.

Il n'en serait plus de même, si en même temps que le projectile tourne, un courant d'air rapide était dirigé sur lui perpendiculairement à son axe, ou, ce qui revient au même, si, pendant qu'il tourne, il

de AB, et qu'ainsi tout son mouvement est exprimé par ω'FL; et de plus que, par la rotation résultante, le point F doit tourner dans l'unité de temps d'une quantité Ω MF; ce qui donne $\omega'\text{FL} = \Omega\,\text{MF}$,

$$\text{Et } \frac{\omega'}{\Omega} = \frac{\text{FM}}{\text{FL}}.$$

Or FL = HK et le triangle CKH semblable au triangle FAM donne

$$\frac{\text{FM}}{\text{HK}} = \frac{\text{FM}}{\text{FL}} = \frac{\text{FH}}{\text{CH}} = \frac{\text{CG}}{\text{CH}};$$

donc si les vitesses angulaires des rotations composantes sont représentées en grandeurs par les lignes CF et CG, la vitesse angulaire résultante doit l'être par la longueur CH.

(Note de l'auteur.)

était en outre transporté avec rapidité parallèlement à son axe, en présentant à l'air sa surface latérale. Supposons, dans la figure 3, que le cercle dont le centre est en C, représente la projection, sur le plan du papier, de la partie cylindrique du projectile; le point C étant la projection de l'axe de rotation; la flèche F indiquant dans quel sens cette rotation a lieu; *abcd* représentant l'air ambiant qui y participe, et *llll* le courant d'air dirigé perpendiculairement à la surface latérale du projectile; il est évident que du côté où l'air entraîné par la rotation marche en sens contraire de la portion de l'air du courant déviée à la rencontre du corps, tangentiellement à sa surface, il doit se produire une augmentation de pression contre cette surface, tandis que du côté opposé, où l'air du tourbillon et l'air du courant marchent tous deux dans le même sens, c'est une diminution de pression qui doit avoir lieu. Le résultat final de ces changements de pression sera donc une pression contre la surface du projectile, agissant perpendiculairement à la direction du courant d'air si le projectile ne change pas de place, ou perpendiculairement à la direction de son mouvement de translation si c'est lui qui se meut dans un air en repos. Ainsi, dans le cas de la

figure 3, le projectile éprouvera une pression dirigée de S en C perpendiculairement à l'axe. Cette *pression latérale* engendrée sous la double influence ou par le double concours du mouvement de progression et du mouvement rotatoire, sera donc d'autant plus intense que les vitesses de rotation et de progression seront plus grandes, et l'on ne doit pas la confondre avec la résiststance que l'air oppose directement au mouvement de translation.

D'après ce qui vient d'être dit, on comprendra que si on abandonne à lui-même, à travers l'air et dans une position horizontale, un corps cylindrique homogène, symétriquement arrondi à ses deux extrémités, et tournant autour de son axe, son centre de gravité ne décrira pas, pendant la chute, une ligne verticale mais sera d'autant plus fortement dévié de cette ligne, du côté de l'écoulement de l'air, que sa vitesse de rotation sera plus grande et aussi d'autant plus que sa vitesse de translation augmentera à mesure qu'il sera tombé de plus haut. Que si, pendant la chute, l'axe *ab* du corps, au lieu d'être parallèle à l'horizon, comme nous l'avons supposé, lui était plus ou moins incliné, il éprouverait pareillement une déviation en dehors de la verticale. En effet, supposons pour fixer les idées,

que la rotation ait lieu dans un sens tel qu'un observateur regardant de *a* vers *b*, vit un point quelconque du corps situé hors de l'axe, tourner de gauche à droite en passant par en haut; soit S le centre de gravité du corps, et ST la direction de la chute verticale, la résistance qu'il éprouvera de la part de l'air pendant la chute pourra être représentée par la résultante TS (*) de deux composantes rectangulaires US et SW agissant la première dans la direction de l'axe *ab* et la seconde perpendiculairement à cet axe. En vertu de cette dernière composante, et de la rotation du corps dans le sens qui a été dit, il se produit pour l'observateur ci-dessus désigné une augmentation de pression sur le côté droit du corps, et une diminution de pression sur le côté gauche.

Le corps doit donc être continuellement poussé parallèlement à lui-même vers la gauche du plan vertical mené suivant son axe.

Il résulte encore de cette discussion qu'un corps ou projectile, tel que celui que nous venons de considérer, tiré dans un canon à rayure *dextror-*

(*) Pour simplifier le raisonnement, on a supposé ici tacitement que la résistance de l'air passe par le centre de gravité du mobile. (*Note de l'auteur.*)

sum (*), doit éprouver par le fait de la résistance que l'air lui oppose dans le sens vertical de bas en haut une pression de plus en plus grande à mesure que la trajectoire s'abaisse, et dirigée de la droite à la gauche du plan vertical de tir ; et par suite une déviation vers la gauche par rapport à ce plan. Au reste, on arrive à ce même résultat pour le corps ici considéré en raisonnant directement sur la résistance qu'il éprouve de la part de l'air dans le sens de la trajectoire : soit ASM (fig. 5) cette trajectoire, ou plus exactement, celle du centre de gravité du corps ; l'axe *ab* de celui-ci, en vertu de l'inertie de ses deux mouvements de translation et de rotation, tend à persé-

(*) Pour abréger le discours, nous employons ici, et nous emploierons désormais l'expression de *rayure* ou *rotation dextrorsum* pour désigner la rayure ou la rotation par suite de laquelle le projectile tourne autour de son axe, de telle manière qu'un observateur placé derrière la pièce verrait, par la pensée, tous les points de ce corps se mouvoir de gauche à droite dans la région supérieure de l'âme, c'est-à-dire les verrait se mouvoir dans le même sens que les aiguilles d'une montre sur son cadran. Par analogie, nous appellerons *rayure* et *rotation sinistrorsum* toute rayure ou toute rotation par suite desquelles les points du projectile se mouvraient en sens contraire de celui que nous venons de préciser.

vérer dans sa direction initiale (4), et fera parconséquent avec la tangente TS à la trajectoire un angle TSU qui, après avoir été égal à zéro au point de départ, ira ensuite en augmentant jusqu'au point de chute. Cela posé, si l'on se figure la résistance de l'air suivant la direction de la tangente comme représentée par TS, en la décomposant suivant les deux directions US et WS, l'une qui est celle de l'axe, et l'autre qui est perpendiculaire à cet axe, on trouvera que par suite de la rotation *dextrorsum* du corps et de la direction perpendiculaire à sa surface cylindrique, de la composante WS de la résistance tangentielle de l'air, il se produit sur la droite du corps une pression incessamment croissante, qui oblige le corps à s'écarter du plan vertical de tir en se portant vers la gauche, et à s'en écarter d'autant plus qu'il approche davantage de son point d'arrivée; et parconséquent d'autant plus que sa portée est plus grande, toutes choses égales d'ailleurs.

Que si le corps considéré était tiré dans un canon *à rayure sinistrorsum*, et par suite, tournait de droite à gauche, il éprouverait nécessairement une déviation vers la droite du plan vertical de tir,

(4) Voir la note 4 à la fin du mémoire.

puisqu'alors la pression latérale engendrée par la résistance de l'air agirait de gauche à droite (5).

Il est clair que les projectiles allongés de forme ordinaire cylindro-ogivale tirés dans des canons rayés qui leur communiquent un mouvement rotatoire, doivent aussi éprouver des déviations en dehors du plan vertical de tir. Seulement alors, il est nécessaire pour se bien rendre compte de la manière dont les choses se passent, d'avoir égard, en outre, à la position du point d'application de la résultante de la résistance de l'air, par rapport au centre de gravité, car de cette position relative dépend principalement le sens dans lequel la déviation a lieu.

Si le corps ou projectile allongé ne tourne pas concentriquement, c'est-à-dire si son axe de rotation ne passe pas par le centre de gravité, la pression latérale de l'air s'y fait par chocs, d'intensités variables; on conçoit qu'alors les déviations latérales qui en résultent ne sont plus régulières, et que leur irrégularité augmente en même temps que le défaut de coïncidence de l'axe de rotation et de l'axe de figure.

(5) Voir la note 5 à la fin du mémoire.

§ 8.

POINT D'APPLICATION DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR; SA POSITION RELATIVEMENT A CELLE DU CENTRE DE GRAVITÉ.

La question la plus épineuse dans l'étude d'un projectile est celle de la détermination du point d'application de la résistance de l'air. On ne sait presque rien à cet égard pour les divers projectiles construits jusqu'à ce jour (6). La plupart des mémoires publiés sur la trajectoire et la déviation des projectiles oblongs renferment cette proposition : que ces sortes de projectiles sont d'autant mieux construits, et ont leur grand axe d'autant mieux maintenu en coïncidence avec la tangente à la trajectoire, que le point d'application de la résistance de l'air se trouve plus éloigné en arrière du centre de gravité, ou est plus rapproché de la base du projectile.

Cette assertion n'est vraie que pour des projectiles non animés d'un mouvement rotatoire autour de leur grand axe, comme par exemple dans le cas

(6) Voir à la fin du mémoire l'avant-dernier alinéa de la note 3.

du tir des traits des flèches, des fusées à baguettes, etc.; mais elle est sans fondement et tout à fait erronée, lorsque le mouvement de translation est accompagné d'un mouvement de rotation. C'est ce qui ressortira avec évidence des considérations que nous présenterons plus loin.

Dans le cas de corps dont la forme résulte du raccordement de plusieurs formes élémentaires différentes, par exemple, d'un cylindre terminé en hémisphère, en paraboloïde, en cône, etc., la détermination du point d'application de la résistance de l'air est très-compliquée, parce que l'action de l'air ne s'exerce jamais immédiatement que sur une partie de la surface, et que son intensité varie selon la courbure de cette surface. Cette détermination n'a rien de commun avec celle du centre de gravité, ou point d'application de la pesanteur dont l'action est partout égale, non-seulement sur tous les points de la surface des corps, mais encore sur tous les points de leur masse.

Pour plus de clarté, occupons-nous d'abord de la résistance de l'air sur des corps de formes simples.

Dans le cas d'une surface plane choquant l'air perpendiculairement à la direction de son mouve-

vement, la résistance est équivalente au poids d'une colonne d'air ayant pour base la surface considérée, et pour hauteur celle dont un corps devrait tomber pour acquérir une vitesse égale à celle de la surface (*). Pour une telle surface le point d'application de la résistance de l'air sur toute son étendue se confond avec le centre de gravité; et si l'on conçoit une force égale à la somme des résistances partielles appliquée perpendiculairement en ce point, cette force représentera la résultante générale de la résistance de l'air.

S'il s'agit de surfaces courbes, la résistance de l'air augmente en général aussi avec leur étendue, mais varie en outre dans chaque cas particulier avec la forme de chaque surface, avec la direction de son mouvement, et selon le plus ou moins de facilité que l'air trouve à s'en écouler.

(*) Soit P cette résistance, F l'aire de la surface plane exprimée au pieds carrés, v la vitesse, q le poids d'un pied cube d'air, et g l'espace parcouru par un corps tombant librement, pendant la première seconde de sa chute, on a :

$$P = Fq \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Pour $F=1$; $v=1$ pi.; $g=31$ pi. $q=0{,}0732975$ livres, mesure de Vienne, on trouve $P=0{,}001182$ livres.

Pour $v=1000$ pi., P devient donc égale à 1182 livres.

Abstraction faite de l'influence de la configuration du mobile et de l'écoulement latéral de l'air à sa surface, l'intensité de la résistance est toujours proportionnelle à l'aire de la projection du corps sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement.

Une sphère en mouvement dans l'air, en éprouve sur celle de ses deux moitiés qui exerce le choc, une résistance égale à la moitié de celle qu'éprouverait un de ses grands cercles par l'action de l'air perpendiculairement à sa surface (*). Quelle que soit la position de la sphère, la résultante de la résistance de l'air passe toujours par son centre de figure.

Un cône droit d'une hauteur égale au diamètre de sa base, éprouve, lorsqu'il se meut dans l'air selon la direction de son axe, la pointe en avant, une résistance qui n'est aussi que la moitié de celle qu'éprouverait sa base circulaire; la résultante de cette résistance coïncide avec l'axe du cône, et par conséquent passe par le centre de sa

(*) C'est là un résultat de calcul. Certains auteurs, au lieu du coefficient 1/2 de la résistance de l'air sur le grand cercle, adoptent un autre coefficient, par exemple, 1/3, etc.

(*Note de l'auteur.*)

base. Il n'en est plus de même lorsque l'action de la résistance est oblique à l'axe du cône.

Un cylindre droit, à base circulaire, éprouve de la part de l'air agissant perpendiculairement à son axe une résistance dont la résultante passe par le centre de gravité de la demi-surface latérale et est perpendiculaire à l'axe. Mais il en est autrement lorsque l'air agit obliquement à la direction de l'axe. Dans ce cas, si l'on se borne à considérer la surface latérale sans tenir compte de la base circulaire, la résultante passera à la vérité par le centre de gravité de la demi-surface latérale frappée, mais elle coupera l'axe soit en avant, soit en arrière du milieu de sa longueur, selon la position du cylindre.

Que s'il s'agit de considérer en même temps les bases circulaires du cylindre et sa surface latérale, la question de savoir si la résultante générale de la résistance de l'air passera par le centre de gravité du cylindre, ou si elle rencontrera l'axe en quelque autre point, en avant ou en arrière, dépendra de l'ouverture de l'angle fait par la direction du courant avec celle de l'axe. À cause de l'insuffisance de la théorie dans son état actuel, pour déterminer la position du point d'application de la résul-

tante de la résistance de l'air, et par suite, celle de cette résultante elle-même, M. le professeur Magnus a entrepris de répandre quelque jour sur cette question au moyen d'une expérience faite pour le cas particulier d'un cylindre d'une longueur double de son diamètre, avec lequel il s'est proposé plus spécialement de reconnaître les angles sous lesquels il devrait être frappé par un courant pour en être relevé ou abaissé. Ses observations l'ont conduit à ce résultat que, lorsque l'axe du cylindre formait avec la direction du courant un angle de moins d'environ 25 degrés, l'axe se plaçait dans la direction du courant, tandis qu'il se relevait sous ce même courant jusqu'à se placer perpendiculairement à sa direction, lorsqu'elle faisait d'abord avec lui un angle supérieur à environ 25 degrés. D'où il suivrait qu'avec un tel cylindre, la résultante de la résistance de l'air doit passer par le centre de gravité, toutes les fois que l'angle formé par son axe avec la direction du courant est d'environ 25°, et qu'elle doit en rencontrer l'axe en avant ou en arrière de ce centre, selon que cet angle est plus grand ou plus petit que 25° (7).

(7) Voir la note 7 à la fin du mémoire.

Si, sans nous engager dans aucun calcul, nous considérons un projectile oblong (fig. 6) de la forme la plus ordinairement employée en pratique, et se mouvant suivant la direction de son axe *ab*, de *a* vers *b*, il est clair que la direction de la résultante de la résistance de l'air devra être dirigée suivant cet axe, et avoir son point d'application quelque part sur sa longueur. Mais si la direction du mouvement du centre de gravité S, au lieu d'être celle de l'axe *ab*, est celle d'une autre ligne S*c* faisant avec cet axe un petit angle *b*S*c*, on ne saurait douter que la résistance exercée par l'air contre la portion *cbd* de la surface qui lui est directement opposée, ne soit plus forte que celle qui s'exerce contre la portion *cf* qui ne s'y présente que très-obliquement (8), en sorte que sa résultante coupera l'axe en quelque point situé entre le centre de gravité et la pointe, ou aura son point d'application quelque part en dehors de l'axe, par exemple en W. A l'égard du mouvement du projectile suivant la direction ST perpendiculaire à l'axe *ab*, le point d'application W' de la résistance de l'air tombera aussi en dehors de l'axe, et

(8) Voir la note 8 à la fin du mémoire.

le calcul indique que pour tout projectile plein et homogène, cela arrivera toujours du côté de la pointe, un peu en avant du centre de gravité. D'après cela, la résultante T'W' de la résistance de l'air coupera aussi l'axe *ab* en avant du centre de gravité. Ce n'est que dans le cas d'un projectile creux ayant extérieurement la forme ici considérée qu'il serait possible, par une disposition convenable de la cavité intérieure, d'en amener le centre de gravité S à être un peu, mais très-peu plus avancé du côté de la pointe.

Dans l'examen de la question qui nous occupe, il convient encore de considérer que la résistance ou pression latérale occasionnée par les deux mouvements de translation et de rotation du projectile agit perpendiculairement à l'axe de celui-ci sur sa demi-surface latérale inférieure, et que par suite la résultante de cette pression doit également passer par le point d'application W' de la résistance, considéré en dernier.

Il est donc évident que la position du point d'application et l'intensité de la résistance de l'air varient en même temps que la position du projectile par rapport à la tangente à la trajectoire, et qu'avec le plus grand nombre des projectiles

oblongs en usage le point d'application de la résistance est situé en avant du centre de gravité du côté de la pointe, toutes les fois que l'angle formé par les directions de l'axe du projectile et de la résultante de la résistance de l'air n'embrasse qu'un petit nombre de degrés.

En vue de reconnaître si la résultante de la résistance de l'air agissant contre un projectile oblong en rencontre l'axe en avant ou en arrière de son centre de gravité, M. le professeur Magnus a entrepris des expériences sur un corps L de la forme représentée dans les figures 21 et 22. Ce corps, composé d'un cylindre de 2 pouces de diamètre et de hauteur et d'un cône droit de même diamètre et d'une hauteur de 1 pouce, 4, était suspendu dans l'intérieur de trois anneaux, au centre commun desquels son centre de gravité correspondait exactement. Il dirigeait alors contre ce corps un courant d'air horizontal d'une intensité uniforme dans tous les points de sa section transversale, et d'une ampleur suffisante pour que le corps en fût enveloppé de toute part dans toutes les positions qu'il était susceptible de prendre. Lorsque l'axe faisait un petit angle avec l'horizon et se trouvait dans le plan vertical mené par l'axe du

courant, la pointe de ce corps éprouvait un relèvement sous l'action de ce courant, lorsqu'elle répondait primitivement au-dessus du plan horizontal passant par le centre de gravité, et elle en était, au contraire, abaissée lorsqu'elle se trouvait d'abord au-dessous de ce même plan. On voit par-là que la résultante de la pression exercée sur le corps par le courant d'air coupait l'axe de ce corps en avant du centre de gravité ou du côté de la pointe (9). Des expériences semblables faites avec d'autres formes de corps permettraient également de déterminer la position du point d'application de la résultante de la résistance de l'air sur des projectiles des mêmes formes.

En général, la résultante de la résistance de l'air (10) contre des projectiles oblongs animés à la fois d'un mouvement de translation et d'un mouvement de rotation, peut rencontrer l'axe longitudinal de ces projectiles, soit en avant du centre de gravité, soit exactement en ce point, soit en arrière; et comme la rotation des projectiles peut être *dextrorsum* ou *sinistrorsum*, on voit qu'il y a

(9) Voir la note 9 à la fin du mémoire.

(10) Voir l'avant-dernier alinéa de la note 3 à la fin du mémoire.

en tout six cas distincts à considérer. C'est ce que nous allons faire ci-après sur chacun des six cas séparément.

§ 9.

PREMIER CAS : ROTATION DEXTRORSUM, ET POINT D'APPLICATION DE LA RÉSULTANTE DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR EN AVANT DU CENTRE DE GRAVITÉ.

Ce cas est celui qui se présente le plus habituellement dans le tir des projectiles oblongs de la forme cylindrogivale avec des canons rayés. Pour cette raison, nous allons, en l'examinant le premier, entrer à son égard dans tous les détails qu'il comporte,

Soit A (fig. 7) le point de départ, et AT la direction initiale du mouvement du projectile tournant autour de son axe longitudinal *ab*, de gauche à droite, par tous les points de la demi-surface supérieure. Nous supposons le centre de gravité du projectile arrivé en un point S de sa trajectoire ASB, et que UW soit alors la résultante de la résistance de l'air, agissant parallèlement à la tangente ST' rencontrant l'axe *ab* du projectile en un point W situé en avant de son centre de gravité S.

Si aucune force n'agissait sur le projectile que la pesanteur dont l'action s'exerce verticalement de haut en bas, et la résistance de l'air dirigée primitivement suivant des parallèles à l'axe longitudinal, cet axe devrait non-seulement ne jamais sortir du plan vertical de tir, mais encore rester toujours parallèle à sa direction primitive AT, à cause de la force d'inertie qui tend à perpétuer les deux mouvements acquis de translation et de rotation (11); dans ce cas, le centre de gravité S du projectile décrirait la courbe balistique ASM. Mais la résistance incessante de l'air dont l'action a lieu suivant la direction actuelle de la tangente ST' à la trajectoire cessera immédiatement après le premier instant du mouvement d'agir dans la direction de l'axe *ab*, et fera avec lui un angle aWU d'autant plus grand que le projectile sera plus près du terme de sa course. La résultante UW de la résistance de l'air coupant, comme on le suppose ici, l'axe *ab* en W, en avant du centre de gravité S, représentera donc une force qui, par cela même qu'elle ne passera pas par le centre de gravité, tendra, d'après le § 6, à imprimer au projectile,

(11) Voir la note 11 à la fin du mémoire.

1° un *mouvement de rotation*, 2° un *mouvement de translation*. Mais comme la résistance de l'air sur le projectile est elle-même un effet de son mouvement de translation, ce n'est pas elle évidemment qui pourrait lui communiquer un mouvement de cette nature, et toute son action dans ce sens se réduit à ralentir celui dont il est animé, en lui faisant décrire la courbe balistique au lieu de la parabole qu'il aurait parcourue s'il se fût mu dans le vide.

A l'égard du mouvement rotatoire que la résistance de l'air tend à imprimer au projectile autour d'un axe mené par le centre de gravité perpendiculairement au plan vertical de tir (*Stoss-hier Schussebene*), son premier effet devrait être de relever la pointe du projectile. Mais une telle rotation ne saurait avoir lieu simultanément avec celle que le projectile exerce déjà autour de son axe longitudinal *ab*. D'un autre côté, cette rotation primitive elle-même ne saurait (§ 6) subsister en présence de celle qui tend à s'établir. Ainsi il doit se former, du concours de ces deux tendances rotatoires simultanées, une rotation résultante autour d'un nouvel axe différent de chacun des deux axes ci-dessus désignés, mais passant toutefois, comme

eux, par le centre de gravité. Pour déterminer ce nouvel axe, concevons un plan MN (fig. 8) passant par les deux axes *ab*, *cd*, des rotations *composantes*. et figurons-nous que *bcmnd* représente la moitié du projectile située en dessus de ce plan, *ab* étant l'axe longitudinal, *cd* l'axe transversal, et S le centre de gravité du projectile. Les rotations composantes autour de ces axes auront lieu de telle manière qu'un observateur placé en S et regardant successivement suivant S*b* et S*d*, verrait le corps tourner, dans les deux cas, de gauche à droite en dessus. Si donc on porte dans les deux directions désignées, les longueurs S*e* et S*f* respectivement proportionnelles aux vitesses angulaires des deux rotations composantes, et que l'on construise le parallélogramme *e*S*f*R, la diagonale SR de ce parallélogramme représentera, en grandeur et en direction, la vitesse angulaire du mouvement de rotation résultant.

On voit ainsi que, par suite de la tendance de la résistance de l'air à relever la pointe du projectile, ou à faire tourner celui-ci autour de son axe transversal *cd*, l'axe longitudinal *ab* cessera d'être un axe de rotation, et que le projectile tournera autour d'un nouvel axe RS qui sortira du plan vertical de

tir de part et d'autre du centre de gravité, en s'en écartant à droite du côté de la pointe; d'où il suit que l'axe longitudinal *ab* décrira autour de l'axe de rotation RS deux cônes semblables opposés par le sommet *bqb'r*S et *apa'o*S (fig. 9). C'est cette rotation résultante du projectile que l'on a l'habitude de désigner sous le nom d'*oscillation conique* (et parfois de *nutation*) de son grand axe.

Pour pouvoir indiquer d'une manière concise les mouvements de la pointe du projectile pendant les oscillations coniques de l'axe, à partir d'un point déterminé de la trajectoire, nous désignerons dorénavant d'une manière absolue, sous la dénomination de *plan parallèle*, un plan passant à chaque instant par le centre de gravité, parallèlement au plan vertical mené par le prolongement de l'axe de la bouche à feu.

Comme l'écart de la pointe du projectile observé en dessus doit toujours se faire vers la droite du plan parallèle OP (fig. 9), c'est à-dire ici de *b* vers *b'*, la résistance tangentielle de l'air, UW, qui pendant les oscillations coniques de l'axe longitudinal agit plus ou moins fortement sur la moitié gauche de la surface du projectile, poussera incessamment celui-ci, ainsi que son centre de gra-

vité, vers la droite du plan parallèle, et conséquemment aussi vers la droite du plan vertical de tir ; et cela, quelle que soit la direction actuelle du grand axe *ab*, à l'exception de celle qui a lieu suivant *b* S *a*. Toutefois, cette poussée continuelle du projectile vers la droite n'a pas constamment la même intensité dans les diverses positions de l'axe longitudinal. Nulle à l'origine de l'oscillation, alors que la pointe du projectile est encore dans le plan parallèle, elle augmente graduellement à partir de ce point, à mesure que la pointe se porte de gauche à droite en dessus, et acquiert sa plus grande valeur lorsque la pointe atteint son plus grand écart, ou a complété sa demi-oscillation *b q b'* vers la droite, comme l'indique la figure dans la position *a' b'* du projectile. Dans le mouvement en retour de droite à gauche en dessous, la pression de gauche à droite va continuellement en décroissant et redevient nulle lorsque la pointe reprend la position qu'elle avait à l'origine de l'oscillation. Dans les oscillations suivantes, les mêmes phénomènes se reproduisent exactement dans le même ordre. La poussée vers la droite est donc produite par l'oscillation conique de sa pointe, dans le même sens, et par la force de la résis-

tance de l'air agissant obliquement sur la moitié gauche du projectile, force qui, bien que variable pendant la durée des oscillations, subsiste néanmoins pendant toute la durée du trajet, et qui, par suite, est cause que la quantité dont il s'écarte du plan de tir augmente dans un plus grand rapport que la distance parcourue.

Il est clair que l'amplitude de l'oscillation dépend tout à la fois : 1° De la position du nouvel axe de rotation et, par suite, de l'intensité de la vitesse angulaire du mouvement rotatoire primitivement communiqué au projectile autour de son grand axe ; 2° de l'intensité de la résistance de l'air qui tend à relever la pointe du projectile, et 3° enfin de la position de la résultante de la résistance de l'air par rapport au centre de gravité (12). Comme la rotation primitive doit perdre graduellement de sa vitesse par l'effet des résistances qu'elle rencontre, et que la résistance de l'air agit pendant toute la durée du trajet, et s'exerce sur une étendue toujours croissante de la surface du projectile, en tendant de plus en plus à en relever la pointe (13), il s'ensuit que l'oscillation conique doit devenir

(12) Voir la note 12 à la fin du mémoire.
(13) Voir la note 13 à la fin du mémoire.

de plus en plus grande et plus visible avec le temps, et par conséquent pendant le parcours de la branche descendante de la trajectoire.

L'inspection de la figure 10 fait voir que l'action révélatrice de la résistance de l'air sur la pointe du projectile ne reste pas non plus la même pendant toute la durée d'une oscillation conique. Dans cette figure, le plan du papier représente le plan vertical de tir; A S B est la courbe suivie par le centre de gravité S du projectile; R S l'axe de rotation de celui-ci ; $a' b'$ et $a'' b''$ sont les deux positions extrêmes de cet axe en dessus et en dessous pendant une même oscillation conique; enfin T S est la tangente à la trajectoire A S B. Dès que la pointe du projectile, en sortant de sa position primitive, se relève vers la droite pendant son oscillation, et atteint sa position supérieure b', l'angle R S T que faisait d'abord la tangente à la trajectoire avec l'axe, va en augmentant et atteint sa plus grande valeur relative b' S T en même temps que la pointe arrive en b'. La résistance de l'air dans le sens parallèle à la trajectoire augmente ou diminue naturellement avec la grandeur de cet angle, par la raison que l'aire de la projection du mobile sur un plan mené par la tangente augmente ou diminue pareille-

ment avec cet angle. Quand la pointe du projectile s'abaisse vers la droite, au-dessous de sa position la plus relevée, l'angle dont nous venons de parler redevient plus petit et atteint de nouveau, relativement parlant, sa valeur primitive. A partir de sa position extrême à droite, la pointe s'abaisse en décrivant son oscillation en retour vers la gauche. Arrivé à sa position la plus déclive, b'', l'angle b''ST atteindra sa plus petite valeur relative. Il peut aussi se faire que la pointe dans sa position la plus basse b'', descende au-dessous de la tangente à la trajectoire ; dans ce cas, l'angle en question devient négatif, et il pourrait en résulter un abaissement de la pointe au lieu d'un relèvement, comme nous aurons occasion de l'expliquer au § 12. Il convient toutefois d'ajouter que ces considérations ne sont rigoureusement exactes qu'en faisant abstraction du mouvement de translation, pendant la durée d'une oscillation. Mais comme le projectile continue d'avancer pendant qu'elle s'exécute, l'angle en question augmentera aussi relativement à ce mouvement progressif.

On comprend que les oscillations coniques du projectile doivent commencer presque dès sa sortie de la bouche à feu, et que leurs amplitudes à

peine perceptibles d'abord doivent aller continuellement en augmentant avec la durée du mouvement.

La vitesse du mouvement rotatoire est déterminée par celle de la rotation résultante, d'où il suit qu'en général, au commencement du mouvement, les oscillations se renouvellent presque plus rapidement, et pour le moins aussi rapidement que la rotation imprimée au projectile par les rayures de l'âme; plus tard elles se ralentissent par l'effet des résistances qu'elles rencontrent.

Mais la portion de la résistance de l'air qui, en agissant, pendant les oscillations de l'axe, contre la moitié gauche de la surface du projectile (*), le

(*) Si au point où l'axe du projectile est coupé par la résultante générale de la résistance de l'air, parallèlement à la tangente à la trajectoire, on décompose cette résultante générale en trois composantes, dirigées l'une suivant l'axe; la seconde perpendiculairement à cet axe, et dans son plan vertical; la troisième enfin, aussi perpendiculairement à l'axe, mais dans un plan horizontal; la première de ces trois composantes constituera la résistance ordinaire de l'air dans le sens de l'axe; la deuxième aura pour effet de relever la pointe du projectile; et la troisième, lorsque la pointe sera dirigée vers la droite, la poussera de gauche à droite. C'est cette dernière composante qui constitue la portion de la résistance générale de l'air, considérée dans le texte.

pousse incessamment vers la droite, tendra aussi en même temps, d'après le § 6, à faire naître une rotation de ce projectile autour de son centre de gravité, parce que sa composante horizontale perpendiculaire à l'axe ne passe pas par ce point. Lorsque, comme dans le cas qui nous occupe, cette composante coupera l'axe longitudinal du projectile en avant du centre de gravité, cette portion de la résistance de l'air poussera la pointe vers la droite et tendra à faire tourner le projectile autour d'un axe transversal mené dans le *plan parallèle*, perpendiculairement à l'axe de rotation proprement dit. En combinant cette rotation avec celle qui existe déjà, le résultat doit être de rabaisser encore le nouvel axe de rotation sur la tangente à la trajectoire.

C'est ce que l'on comprendra mieux en considérant plus particulièrement le projectile, au moment où il va commencer une de ses oscillations coniques, c'est-à-dire où son axe arrive dans le *plan parallèle*. A cet effet, concevons à ce moment par les deux axes de rotation primitifs, un plan qui sera alors vertical et que nous supposerons celui de la figure 11, où *ophig* représentera la partie du projectile située à droite et en avant de

ce plan; RS et *gh* étant les deux axes de rotation qui s'entrecoupent au centre de gravité S; enfin ASB et ST, la trajectoire et sa tangente. Comme pour un observateur placé en S et regardant vers R et vers *h* les deux rotations ont lieu dans le même sens, ou vers la droite dans la partie supérieure ou antérieure du projectile, on devra porter les longueurs proportionnelles aux vitesses angulaires respectives, de S vers *k*, et de S vers *l*. Achevant ensuite le parallélogramme S*k*R'*l*, la diagonale SR' représentera tout à la fois la position de l'axe et la grandeur de la vitesse angulaire de la rotation résultante. On voit donc que la rotation du projectile qui avait lieu primitivement autour de l'axe longitudinal se fera à la fin, par suite des diverses influences de la résistance de l'air, autour d'un axe tout à fait différent, dont le côté de la pointe du projectile non-seulement s'écarte vers la droite du plan parallèle, mais s'abaisse de plus en plus vers l'horizon, ou, relativement parlant, vers la tangente à la trajectoire; et s'abaisse ainsi d'autant plus que la dérivation du projectile vers la droite est plus considérable, et que la disposition de sa pointe à tourner à droite augmente davantage. L'abaissement progressif de l'axe de rotation vers l'horizon

loin d'avoir pour effet de diminuer l'amplitude des oscillations coniques du projectile, tend au contraire à l'augmenter ; et un observateur placé latéralement au plan de tir verrait en effet la pointe se rapprocher de plus en plus de la tangente à la trajectoire.

Mais ce n'est pas tout : outre la force déviatrice, dont il vient d'être question, il en est une autre encore, qui résulte des actions combinées de la résistance tangentielle de l'air et de la rotation du projectile, rotation d'abord concentrique autour de son grand axe, puis devenant progressivement de plus en plus excentrique autour d'un axe de plus en plus différent de l'axe de figure. La résultante de la résistance de l'air est toujours contenue dans le plan d'impulsion de l'air (Stossebene der Luft). Or ce plan passe à la fois par l'axe longitudinal du projectile et par la tangente à la trajectoire ; et change, par conséquent, à chaque instant de position pendant la durée d'une oscillation conique. Sa position moyenne peut être représentée par un plan mene suivant la tangente à la trajectoire et par l'axe de rotation, plan qui n'est ni horizontal ni vertical et paraîtrait incliné de droite à gauche à un observateur placé en arrière

de la bouche à feu. Si l'on décompose la résultante de la résistante de l'air en deux forces agissant dans ce plan, la première suivant la direction de l'axe de rotation, et l'autre perpendiculairement à cet axe, ce sera cette dernière composante qui, dans le cas de la rotation *dextrorsum*, produira, suivant ce qui a été dit au § 7, une pression latérale, et par suite une déviation du projectile. Un observateur placé derrière la bouche à feu, et regardant le projectile en mouvement, qui le verrait dans sa projection perspective, sous la forme d'un cercle (fig. 12), au moment de l'entrée de son axe longitudinal dans le plan d'impulsion passant par l'axe de rotation, pourrait se représenter la partie de la résistance de l'air qui produit la pression latérale par la ligne SU, dont la direction, par conséquent, lui indiquerait aussi la position du plan d'impulsion. Comme le projectile, ainsi que l'indique la flèche *fg*, tourne ou fait ses oscillations coniques de gauche à droite en-dessus, il en résulte, d'après le § 7, une pression latérale perpendiculairement à la direction SU, dirigée par conséquent suivant VS, et agissant sur le quart inférieur droit du projectile de bas en haut, vers la gauche, devant par conséquent aussi pousser le projectile

dans cette direction. Or, la résultante de cette pression latérale VS passe par le point d'application de la résistance de l'air, coupe par conséquent l'axe du projectile en avant de son centre de gravité, et doit ainsi, non-seulement mouvoir le projectile suivant la direction désignée, mais, en outre, tendre à en faire tourner la pointe dans le même sens. Pour pouvoir préciser la déviation du projectile produite par le concours de la rotation et de la résistance de l'air suivant des directions déterminées, décomposons la résultante de la pression latérale en deux composantes PS et QS, toutes deux perpendiculaires à l'axe du projectile, mais la première dans un plan horizontal, et la deuxième dans un plan vertical. La composante horizontale PS de la pression latérale agit en sens directement contraire à celui de la partie ci-dessus mentionnée de la résistance de l'air, qui est dirigée contre le côté gauche du projectile et pousse celui-ci, en même temps que son centre de gravité, en dehors du plan parallèle, et tend à en faire tourner la pointe vers la droite. Les effets des deux forces ou résistances s'y détruiraient mutuellement si leurs intensités étaient les mêmes ; mais il n'en est pas ainsi. La pression latérale agissant de droite à

gauche, est faible comparativement à la résistance de l'air de l'avant à l'arrière. On comprend donc que l'intensité de cette dernière résistance soit diminuée d'une quantité égale à l'intensité de la pression latérale, mais elle conservera encore assez d'énergie pour faire sortir le projectile du plan parallèle, en le poussant vers la droite et incliner l'axe de rotation sur l'horizon, ou, relativement parlant, sur la tangente à la trajectoire, quoique non avec toute la force qu'elle aurait si elle agissait intégralement.

L'autre composante QS, de la pression latérale, qui tend à relever le projectile et sa pointe, se combine avec l'effet analogue de la résistance de l'air et fait que l'axe de rotation est encore un peu plus dévié vers la droite que ne l'indiquait le résultat de la discussion ci-dessus.

Il résulte clairement de cette analyse que le centre de gravité du projectile ne prend part à aucune des rotations mentionnées puisque tous les axes autour desquels elles ont lieu, passent par ce point. La même remarque s'applique également à d'autres points du projectile qui seraient situés sur ces axes; mais tous les autres points participent aux rotations en décrivant autour de l'axe de

rotation des cercles d'autant plus grands qu'ils sont plus éloignés de ces axes. A cause du mouvement de translation du projectile, ces points doivent naturellement décrire des spirales ou des hélices. Mais il y a plus, le centre de gravité lui-même se mouvra aussi suivant une hélice, puisque dans chaque position du projectile il est plus ou moins poussé en dehors de la courbe balistique pendant la durée d'une oscillation conique.

Cette considération fait voir en même temps que les diamètres des hélices décrites par les autres points du projectile en seront tous augmentés d'une quantité correspondante. Enfin, comme la vitesse de translation du projectile diminue pendant la durée du trajet (14), par l'effet des résistance qu'elle rencontre, tandis qu'au contraire l'amplitude des oscillations va en augmentant, il en résulte que les hélices décrites par les divers points du projectile auront des diamètres d'autant plus grands, et seront de pas d'autant plus courts que le projectile approchera davantage de la fin de sa course.

(14) Voir la note 14 à la fin du mémoire.

§ 10.

RÉSULTATS DE LA DISCUSSION DU PREMIER CAS.

Ainsi donc, dans le cas du tir d'un projectile oblong avec un canon à rayure *dextrorsum*, si telle est la construction du projectile que son axe soit rencontré par la résultante de la résistance de l'air en avant de son centre de gravité, on peut dire :

1° Que la résistance de l'air, dans le sens de la tangente à la trajectoire, tend à relever la pointe du projectile, et consécutivement à faire prendre à l'axe de rotation une direction oblique au plan parallèle qui fait tourner la pointe vers la droite.

2° Qu'il suit de ce changement de position de rotation que le projectile doit osciller autour du nouvel axe de rotation de manière à faire décrire à son axe longitudinal deux cônes opposés par le sommet, lequel sommet commun correspond au centre de gravité. Et que comme les oscillations coniques se font autour de l'axe dévié vers la droite du plan parallèle, il en sera et continuera d'en être de même des oscillations de la pointe du projectile, et de la position du point d'application

de la résistance de l'air, qui resteront toujours à la droite du plan parallèle, à partir de ce plan.

3° Que puisque les oscillations coniques de la pointe du projectile et du point d'application de la résultante de la résistance de l'air, se font uniquement du côté droit, la résistance de l'air au mouvement progressif aura constamment pour effet d'écarter le projectile tout entier y compris son centre de gravité, vers la droite du plan parallèle ou du plan vertical de tir; provoquant ainsi du même coup le transport continuel de la pointe sur la droite; en sorte que le projectile entier doit lui-même dévier de plus en plus à droite, et l'axe de rotation s'incliner de plus en plus sur l'horizon ou, relativement parlant, sur la tangente à la trajectoire.

4° Que par suite de la rotation *dextrorsum* du projectile, d'abord concentriquement, puis bientôt après et de plus en plus excentriquement à son axe de figure, l'air détermine contre la surface latérale de ce projectile une pression tendant à le relever et en relever la pointe, et en même temps à le pousser et faire tourner sur la gauche du plan parallèle, et du plan de tir; qu'ainsi une partie de cette pression latérale agit identiquement dans le même sens que la résistance mentionnée sous le n° 1, tandis que

le reste agit en sens directement contraire à celui dont il est question sous le n° 3 d'où il suit qu'à raison du peu d'importance de cette dernière partie de la pression latérale, comparativement à la résistance tangentielle, la dérivation à droite du projectile, et l'abaissement de son axe de rotation en sont un peu diminués, mais que par l'effet de la première partie l'axe de rotation est reporté vers la gauche.

5° Que le projectile décrit en général une courbe à double courbure dont la projection sur le plan horizontal suit des lois analogues à celles de sa projection sur le plan vertical de tir ou du prolongement de l'axe de la pièce. Que tous les points du projectile décrivent autour de cette trajectoire des hélices de diamètrès dépendant de la distance des points générateurs à l'axe momentané de r tation. Enfin que les hélices de ces divers points ont des pas d'autant plus courts, et des diamètres d'autant plus grands que le projectile approche davantage de la fin de sa course.

6° Que toutes les circonstances ci-dessus mentionnées existent déjà tout près du point de départ du projectile (15), mais y sont encore peu percep-

(15) Voir à la fin du mémoire la note 15.

tibles, aussi bien que les influences qu'elles exercent sur le mouvement, mais deviennent ensuite graduellement de plus en plus distinctes jusqu'à la fin de la trajectoire. En outre, que ces influences dépendent presque uniquement de la rotation imprimée au projectile dans la bouche à feu, et de la position du point d'application de la résultante de la résistance de l'air (16) sur le projectile, relativement à son centre de gravité, à savoir : de manière à acquérir d'autant plus d'importance que la vitesse primitive de rotation est moindre, et que la distance du point d'application de la résultante de la résistance de l'air au centre de gravité est plus grande.

(16) Voir l'observation de l'avant-dernier alinéa de la note 3 à la fin du mémoire.

(La suite au prochain numéro.)

L'ARITHMOMÈTRE THOMAS

Par M. L'Epervier du Quesnon.

(Suite et fin. Voir le n° de mai, page 160.)

SOUSTRACTION.

Pour soustraire. — Tout étant à zéro.

1° Faire paraître, dans les lucarnes, le nombre sur lequel on veut opérer la soustraction ;

2° Appuyer sur le bouton *B* (*soustraction* et *division*) ;

Chaque tour de manivelle reproduisant en moins, dans les lucarnes, le nombre inscrit par les boutons *A*, il suffira d'opérer comme pour l'addition, d'écrire, l'un après l'autre, chaque nombre à soustraire de la somme inscrite dans les lucarnes, et de donner, pour chacun, un tour de manivelle. L'opération terminée, on trouvera le reste dans les lucarnes.

EXEMPLE :

Soit la somme de.	7 5 7
dont on veut soustraire.	6 8 9
RESTE. . .	6 8

Il faut porter la somme 7 5 7 dans les lucarnes, et marquer celle de 6 8 9 par les boutons *A*.

Appuyer sur le bouton *A* (*soustraction* ou *division*) par un tour de manivelle, on verra que la somme inscrite dans les lucarnes est réduite à 6 8.

S'il y avait un nombre à retrancher encore, soit 5 7, on écrirait ce nombre avec les boutons *A*, et l'on donnerait encore un tour de manivelle; la somme se trouverait réduite à 11, qui serait le reste de la soustraction.

MULTIPLICATION.

Pour multiplier. — Tout étant à *zéro*.

Appuyer sur le bouton *B* (*multiplication*).

On écrit le nombre que l'on veut multiplier (le multiplicande) avec les boutons *A*, et l'on donne autant de tours de manivelle qu'il y a d'unités

dans le chiffre par lequel on veut faire la multiplication, c'est-à-dire le multiplicateur ; on aura multiplié par les unités. On sortira alors la platine mobile d'une lucarne, de façon à dégager les unités et à ne plus opérer que sur les dizaines, et l'on donnera autant de tours de manivelle qu'il y a d'unités de dizaines. On fera, pour multiplier par les centaines, ce que l'on a fait pour les dizaines, et ainsi de suite pour les mille, dix mille, etc.

1er EXEMPLE :

Pour multiplier. . . .	9
par.	6
PRODUIT. . .	5 4

Il faut :

Appuyer sur bouton *B* (*multiplication*), et tous les chiffres à *zéro*.

Pousser le bouton *A*, de droite, à 9, et les autres à *zéro*.

Comme chaque tour de manivelle reproduit, dans les lucarnes de la platine, les chiffres marqués par les boutons *A*, il faudra faire *six* tours de manivelle pour obtenir *six* fois le chiffre 9 et les lucarnes présenteront le chiffre 5 4.

2° EXEMPLE :

Pour multiplier. . . .	3 5 6 9 5
par.	2 9 0 7 2
	7 1 3 9 0
	2 4 9 8 6 5
	0 0 0 0 0
	3 2 1 2 5 5
	7 1 3 9 0
	1,0 3 7,7 2 5,0 4 0

Il faut :

Pousser d'abord les cinq boutons *A*, aux chiffres du *multiplicande*, soit à 3 5 6 9 5.

Puis, pour multiplier par 2, chiffre des unités du multiplicateur 2 9 0 2 2, donner *deux* tours de manivelle ; les lucarnes présenteront le premier produit partiel 7 1,3 9 0.

Pour multiplier par 7, chiffre des dizaines du multiplicateur, il faut porter la platine d'un cran à droite pour dégager les unités, et ajouter le produit des dizaines aux dizaines, selon les règles ordinaires de l'arithmétique, et donner *sept* tours de manivelle ; les lucarnes présenteront l'ensemble des deux premiers produits partiels 2,5 7 0,0 4 0.

Pour multiplier par les centaines, il faut encore porter la platine d'un cran à droite ; mais comme le chiffre des centaines du multiplicateur est à *zéro*, et que la multiplication par *zéro* est nulle, il faut porter de nouveau la platine d'un cran à droite et multiplier immédiatement par 9, chiffre des unités de mille du multiplicateur, c'est-à-dire donner *neuf* tours de manivelle ; les lucarnes présenteront l'ensemble des quatre premiers produits partiels 3 2 3,8 2 5,0 4 0.

Enfin, pour multiplier par 2, chiffre des dizaines de mille du multiplicateur, il faut porter une dernière fois la platine d'un cran à droite et donner *deux* tours de manivelle ; les lucarnes présenteront le produit total 1,0 3 7,7 2 5,0 4 0, qui est celui de 3 5,6 9 5, multiplié par 2 9,0 7 2.

Vous avez la preuve de votre opération en regardant si le nombre inscrit dans les lucarnes *D* est bien celui par lequel vous avez voulu multiplier.

On peut faire l'opération de la même façon en commençant par la gauche, et en faisant marcher la platine mobile de gauche à droite, lorsque la platine se trouve comme dans la gravure.

DIVISION.

Pour diviser. — Tout étant à *zéro*.

1° Placer le *dividende*, ou la somme à diviser, dans les lucarnes. (*Voir* Principe de la machine, § IV.)

2° Inscrire les chiffres du *diviseur* avec les boutons *A*.

3° Porter la platine, en la soulevant, de manière à placer le premier chiffre du *dividende* au-dessus du premier chiffre du *diviseur*.

4° Appuyer sur le bouton *B* (*division*).

Cela posé,

Tourner la manivelle jusqu'à ce que le nombre qui reste marqué dans les lucarnes soit inférieur au *diviseur*.

Chaque tour de manivelle retranchant une fois la somme marquée par les boutons *A* de celle placée dans les lucarnes, le nombre de tours exprimera le nombre de fois que la somme a été retranchée, et, par conséquent, le premier chiffre du *quotient*.

Ce chiffre sera indiqué par la machine dans les lucarnes *D*.

On rentrera la platine mobile d'un chiffre (ce qui équivaut à abaisser le chiffre suivant), et l'on agira comme on a déjà fait ; le nombre de tours sera le second chiffre du *quotient* ; on l'écrira à la droite de celui déjà obtenu, puis on agira de même jusqu'à ce que tous les chiffres placés dans les lucarnes aient été soumis à l'opération. Les différents chiffres obtenus, mis à la droite des uns des autres, formeront le *quotient*, qui sera inscrit dans les lucarnes *D*.

EXEMPLE :

Soit. . . . . 4,3 0 0 à diviser par 3 5 7.

Poser 4,3 0 0 dans les lucarnes ; marquer 3 5 7 avec les boutons *A*.

Faire glisser la platine de droite en la soulevant, et placer le premier chiffre du *dividende* 4 au-dessus du premier chiffre du *diviseur* 3.

Les sommes seront ainsi posées :

4 3 0 0 dans les lucarnes *C*.
3 5 7 boutons *A*.

Appuyer sur le bouton *B* (*division*).

Tourner la manivelle : un tour réduira le *dividende* à 7 3, nombre inférieur à 3 5 7.

1 sera le premier chiffre du *quotient :* l'écrire sur le papier.

Rentrer la platine d'un cran à gauche ; les chiffres seront ainsi posés :

7 3 0 dans les lucarnes.
3 5 7 boutons *A*.

Tourner la manivelle ; deux tours réduiront le *diviseur* à 1 6, nombre inférieur à 3 5 7 ; 2 sera le second chiffre du *quotient :* l'écrire, et l'on aura pour *quotient* 1 2, avec un reste 1 6.

Pour faire la preuve,

Il faut laisser le reste 1 6 dans les lucarnes, et multiplier le *diviseur* 3 5 7 par le *quotient* 1 2, en ayant soin d'appuyer sur le bouton blanc *B* (*multiplication*)*;* on retrouvera dans les lucarnes le nombre primitif 4,3 0 0.

Autre exemple.

Soit. . . . 3,2 6 4,5 6 6 à diviser par 6,2 4 2.

D'abord poser le *dividende* dans les lucarnes *C*, comme il a été expliqué plus haut ; mais comme

ce *dividende* se compose de 7 chiffres, et qu'il n'y a que 5 boutons *A*, il faudra faire une double opération.

A cet effet, le bouton *B* étant à *addition ;*

Placer les 5 boutons *A* aux 4 derniers chiffres du *dividende* (ceux de droite), soit 6 4 5 6 6 ;

Donner un tour de manivelle ; ces 5 chiffres se trouveront indiqués dans les 5 dernières lucarnes de la platine (celles de droite) ;

Pour la platine de 5 crans en dehors à droite ;

Placer les deux derniers boutons *A* (ceux de droite) aux deux premiers chiffres du *dividende* (ceux de gauche), soit à 3 2, et les trois autres (ceux de gauche) à *zéro* ;

Donner un tour de manivelle ; les 7 chiffres du *dividende* seront naturellement transportés dans les lucarnes de la platine.

Maintenant commencer la *division*.

Appuyer sur le bouton B (*division*).

Pousser les 4 derniers boutons *A* aux chiffres du *diviseur*, soit à 6 2 4 2.

Placer la platine de telle sorte que 2, second chiffre de gauche du *dividende*, se trouve au-dessus du 6, premier chiffre de gauche du *diviseur*.

On met ici le second chiffre du *dividende*, parce

que le nombre 3,2 6 4 du *dividende* est inférieur au nombre 6,2.4 2 du *diviseur*.

Les chiffres se trouvent ainsi posés :

3 2 6 4 5 6 6 dans les lucarnes.
6 2 4 2 boutons *A*.

Ainsi, les deux chiffres de la droite 6 6 seront en dehors de la machine, et, par conséquent, de l'opération, comme on ferait en calculant avec la plume.

Cinq tours de manivelle réduiront les cinq chiffres du *dividende* soumis à l'opération, à 1 4 3 5, abstraction faite des deux 6 qui ont été placés hors de l'opération.

Le premier chiffre du *quotient* sera 5 :

En rentrant la platine d'un cran à gauche, les sommes seront ainsi posées :

1 4 3 5 6 6 lucarnes *C*.
6 2 4 2 boutons *A*.

Deux tours de manivelle réduiront le *dividende* à 1 8 7 2, abstraction faite du 6 qui est resté en dehors.

Le deuxième chiffre du *quotient* est donc 2 : l'écrire.

On rentre encore la platine d'un cran à gauche.

Les chiffres se trouvent ainsi posés :

1 8 7 2 6 lucarnes *C*.
6 2 4 2 boutons *A*.

Trois tours de manivelle réduiront le ***dividende*** à ***zéro***. Le troisième chiffre du ***quotient*** est 3.

Le ***quotient*** est donc 5 2 3.

Pour faire la preuve, il suffit de multiplier le ***diviseur***, déjà marqué par les boutons *A*, par le ***quotient*** 5 2 3.

On retrouvera dans les lucarnes le nombre primitif 3,2 6 4,5 6 6, et le ***quotient*** disparaîtra pour faire place aux 0.

Nota. — Il est une remarque utile à faire à l'égard de la place que doit occuper le ***dividende*** sur la platine ; si l'on veut avoir des décimales au ***quotient***, il faut, en posant ce ***dividende*** dans les lucarnes, laisser à sa droite autant de ***zéros*** que l'on veut avoir de chiffres décimaux.

EXTRACTION DE LA RACINE CARRÉE.

Pour extraire la racine carée de 8 9 7,6 5 0,0 0 0.

1° Faire paraître le nombre dans les lucarnes *C*, comme il a été expliqué, et après, mettre tous les boutons *A* à *zéro*.

2° Appuyer sur le bouton B (*division*).

3° Porter la platine de gauche à droite, comme dans la division, jusqu'à ce que le 8 se trouve au-dessus du premier bouton de gauche *A* (1).

4° Prendre la racine carrée de 8, qui est 2, et poser le bouton *A*, qui est au-dessus du chiffre 8, au chiffre 2.

Les 4 boutons de droite à *zéro*.

5° Donner deux tours de manivelle; il paraîtra un 4 à la place du 8, dans les lucarnes.

6° Rentrer la platine d'un cran ; le 9 se trouvera en face de la racine du premier chiffre qui est 2, marqué par le bouton *A*, et le 7 sera en face

(1) Se rappeler qu'il faut d'abord partager son nombre par tranches de deux chiffres, en commençant par la droite, et faire ainsi 8,9 7,6 5,0 0,0 0. Vous savez d'avance que vous devez avoir cinq chiffres à votre racine.

Si le nombre de chiffres formant la somme dont on veut extraire le carré était *pair*, il faudrait placer la platine de façon que le second chiffre se trouvât au-dessus du premier bouton de gauche *A*, comme si on voulait diviser deux chiffres par un chiffre.

du second bouton, qui va indiquer le second chiffre de la racine.

7° Doubler la racine 2 du premier chiffre en portant ce bouton au chiffre 4.

8° Ce 4 servira de diviseur des deux chiffres de gauche 49, pour avoir le second chiffre de la racine.

Mais quoique 4 puisse être contenu 12 fois dans 49, il faut, à cause du chiffre 9 qui le suit, supposer qu'il n'est contenu que 9 fois (un chiffre quelconque de la racine d'un nombre ne peut jamais être plus de 9) ; le second chiffre de la racine sera 9.

9° Porter le second bouton *A* au chiffre 9, et donner neuf tours de manivelle. Comme le bouton B est poussé à *division*, la machine aura fait, *en moins*, la multiplication par 9 de 49 marqué par les deux boutons *A*, ce qui réduira les 4 9 7 des trois premières lucarnes à 5 6.

La machine aura fait 4 9 7 — 49 × 9 = 5 6.

10° Comme on doit encore doubler la racine pour chercher le troisième chiffre, et que le premier chiffre a déjà été doublé, il faudra mettre le deuxième bouton qui est à 9, au chiffre 8 ; augmenter le pre-

mier d'une unité et le mettre à 5, ce qui présentera 5 8, double nombre de 2 9, racine connue.

11° Rentrer la platine d'un cran ; le premier 6 se trouvera au-dessus du bouton 5, et le second au-dessus du bouton 8. Un 5 sera au-dessus du troisième bouton *A*, qui va indiquer le troisième chiffre de la racine.

12° Voir combien de fois le chiffre 5 peut être contenu dans les deux premiers chiffres 5 6.

Comme le second bouton indique 8, on remarquera que le 5 équivaut presque à un 6, et on dira : combien de fois 5 en 56 ? Il y va neuf fois.

13° Porter le troisième bouton à 9, et donner neuf tours de manivelle ; il restera 3 6 4 au-dessus des trois premiers boutons *A* ; le troisième chiffre de la racine est donc 9.

14° Doubler ce 9 sur les boutons, c'est-à-dire le tirer au chiffre 8, et augmenter d'une unité celui de gauche; les boutons *A* présenteront 5 9 8, double de la racine des trois premiers chiffres 2 9 9.

15° Rentrer la platine d'un cran, et faire encore la division de 3 6 par 6; il y va six fois, le quatrième chiffre de la racine sera 6.

16° Pousser le quatrième bouton au chiffre 6,

et donner six tours de manivelle ; il restera un zéro au-dessus du bouton 5, et 4 8 4 au-dessus des trois autres boutons.

17° Doubler cette racine 6, en tirant le quatrième bouton au chiffre 2, et augmenter d'une unité celui de 8, ce qui le met à 9.

18° Rentrer la platine d'un cran ; il y aura un 4 au-dessus du premier bouton 5.

En voulant faire la division de 4 par 5, il n'y est pas contenu ; le cinquième chiffre de la racine sera donc 0.

Ainsi, la racine totale sera 2 9,9 6 0, avec un reste de 1 8,4 0 0 marqué dans les lucarnes.

Mais comme les boutons *A* qui doivent indiquer la racine ont été successivement portés au double, à l'exception du dernier, et présentent le nombre 5 9,9 2 0, il faudra les dédoubler, et pour ce, les porter à 2 9,9 6 0, chiffres qui composent effectivement la racine.

Pour faire la preuve, on n'aura qu'à multiplier 2 9,9 6 0 par 2 9,9 6 0, c'est-à-dire la racine par elle-même, en laissant dans les lucarnes le reste qui s'y trouve déjà ; et la somme totale de 8 9 7,6 5 8,0 0 0,

dont on voulait extraire la racine, se trouvera dans les lucarnes.

MOYENS DE REMÉDIER A L'INOBSERVATION DES PRÉCAUTIONS INDIQUÉES DANS L'INSTRUCTION.

Si la manivelle résistait, au lieu de vaincre cette résistance, il faut lâcher aussitôt la manivelle où elle se trouve.

Remettre à *zéro* tous les boutons *A*.

Et finir le tour de manivelle commencé.

Tout étant remis en place, recommencer l'opération, en ayant soin de donner un ou deux tours de manivelle, en tenant la platine *M* levée.

La manivelle devra tourner librement; s'il en était autrement, c'est qu'il se serait glissé dans la machine un corps étranger qui lui ferait obstacle.

On retire alors la machine de sa boîte, en ôtant les deux grosses vis qui se trouvent l'une à droite, l'autre à gauche.

Pour la durée de la machine, et pour faciliter sa marche, il est bien, de temps à autre, d'y mettre de l'huile de pieds de mouton épurée, ou d'horlogerie.

Le mécanisme de l'arithnomètre Thomas est, en apparence, tellement compliqué, qu'il est important de jeter un coup d'œil éclaircissant sur sa construction.

Les figures de la planche reproduisent tous les détails essentiels pour deux sortes d'éléments, celle des unités et celle des dizaines.

La partie principale de chaque moteur, c'est le cylindre moteur A A_1 A_2 (fig. 2 et 3), qui est censé être composé de 10 cylindres bas, dont le premier n'a pas de dents, dont le deuxième en a 1, le troisième 2, et ainsi de suite, de manière que le dixième a 9 dents, qui forment 1/22 de la périphéric.

Ces dents peuvent s'engrener avec la petite roue B B_1 B_2, qui peut être déplacée au moyen du bouton-indicateur C C_1 C_2 sur son axe à quatre tranchants et qu'on peut porter, à volonté au delà de la région à 9, 8, 7, 6 et 10 dents du cylindre moteur. Le résultat en est que B, étant armé de 10 dents, se déploie de 9, 8, 7, 6, etc., tours de dixième pen-

dant que A fait un tour, Mais tous les cylindres-moteurs tournent toujours simultanément une fois par l'action de l'axe principal D qui s'étend tout le long de la machine, quand on fait faire un tour à la manivelle E.

L'axe F de la petite roue B pousse, par une des petites roues G ou H du rouage, la roue I sur l'axe vertical qui porte le cadran K et communique parconséquent à ce dernier autant de rotations de dixième en sens positif ou négatif que B en reçoit. L'axe L du transposeur du pignon marche sous l'ensemble de tous les axes F, de même que la barre plate M qui saisit la boîte entre les petites roues G et H et en amène immédiatement le mouvement de va-et-vient. La règle de chiffres tourne autour de l'axe N. Il est facile de voir qu'à la position élevée (ponctuée à la figure) de la règle, tous les cadrans sortent d'engrenage. Pour que les roues à dents rentrent avec sûreté, on pratique une série d'entailles où s'engage la pointe O, dès que l'on abaisse la règle à l'endroit voulu.

Tous les cadrans (fig. 5) ont des bombements représentant autant de dents d'arrêt où s'engrène un ressort mou, afin de maintenir jusqu'à un certain point les cadrans dans les positions où les

chiffres se trouvent juste en face du trou de vision. Mais cette précaution ne suffit pas pour empêcher les placements vicieux des cadrans, et en particulier le placement défectueux des petites roues qui concourent essentiellement au mouvement : il y a encore des roues d'arrêt particuliers P P_1 P_2 qui sont établies dans les rouages moteurs.

La roue d'arrêt a 10 échancrures arquées égales, dans lesquelles s'engrène la pièce d'arrêt Q Q_1 Q_2 sur l'axe du cylindre. Mais cette pièce d'arrêt Q est juste assez étranglée, comme on peut le voir par les lignes ponctuées, pour que *l'arrêt* n'ait pas lieu réellement aussi longtemps qu'il est possible que les dents motrices s'engrènent dans la petite roue B.

Il résulte de l'organisation que nous venons de décrire, que la rotation de la petite roue et du cadran qui s'y rapporte, est complètement libre, du moment que l'arc endenté s'approche de B, et, par suite, du moment que l'axe de la dent Q s'approche du point d'engrenage, et qu'il reste libre pendant tout le parcours de l'arc endenté 9 à 1, mais qu'après le passage de celui-ci il se sépare de nouveau. De cette manière on prévient toute fausse position es cadrans amenée par des ébranlements produits

par une rotation rapide, etc. Il est vrai qu'en même temps cette construction qui est nécessaire, rend plus difficile la transposition des dizaines, pour laquelle il faut plus d'éléments qu'on ne serait porté à en supposer.

La transposition des dizaines se fait en première ligne par la dent 10 qui arme un bras particulier et qui est superflue en A comme cylindre d'unités, mais qui doit être établie sur chacun des cylindres suivants.

La dent des dizaines pourrait impunément mordre dans la petite roue B ; mais celle-ci ayant besoin d'être poussée de çà et de là, son exacte répétition est donnée dans la petite roue R placée mobile sur F. La dent 10 ne peut mordre dans la roue R que lorsqu'elle se trouve dans la position ponctuée (fig. 3). Mais quand elle doit mordre, il faut que le mécanisme d'arrêt P Q soit en même temps enlevé. Cet enlèvement s'opère de la manière suivante :

La pièce d'arrêt Q a, dans un plan situé plus loin à droite de P, un degré plus reculé S, qui laisse libre la roue d'arrêt dans le cas où la roue des dizaines a mordu, quand S est amené dans son plan. Mais c'est ce qui ne peut avoir lieu que si-

multanément avec l'avancement de la roue des dizaines dans le plan de R ; car cette dent et la pièce d'arrêt ne font ensemble qu'un seul et même tout. A l'addition, la transposition des dizaines doit se faire quand le disque des unités passe de 9 à 0 ; à la soustraction, quand elle passe de 0 à 9. Mais, dans ce passage, la dent T du cadran (fig. 5) donne, une fois à gauche et une fois à droite, contre la saillie de *l'avanceur* U ; celui-ci pèse alors sur le levier intermédiaire V, qui transpose la petite assiette W solidement vissée sur sa pointe, et en même temps la petite tête X qui tire en avant la pièce d'arrêt et ses dépendances. Dès que cela est fait (ce qui peut arriver en un point de l'engrenage du premier cylindre moteur, soit dès l'insertion de la première dent, quand il y avait 9 à la roue de chiffres et qu'on additionne), la transposition des dizaines est complètement préparée ; mais la transposition n'a lieu réellement qu'au moment où la dent des dizaines arrive en haut et s'engrène, ce qui n'a lieu qu'au moment où toutes les autres 9 dents ont déjà passé par le point d'engrenage, et ont, par conséquent, pu agir. Ce n'est qu'à cette époque que la dent des dizaines s'engrène, pousse en avant de 1/10 de tour et fait de nouveau mordre

l'arète en S dans la roue d'arrêt, pour rendre toute perturbation impossible.

Mais à cette hauteur de l'opération, il faut que la dent des dizaines soit de nouveau écartée, afin qu'à la rotation suivante, elle ne vienne pas exercer une impulsion inutile ou fausse. C'est dans ce but qu'à la pièce d'arrêt Q est établie une surface de vis Y qui donne contre une pointe fixe Z, la frôle et repousse Q à sa place abandonnée. Z est disposé de manière qu'après chaque avancement de dizaines Q soit ramené à son point de départ. Mais en même temps reculent aussi X, W, V et U, et, dès lors, toutes les dispositions sont prises pour de nouvelles opérations arithmétiques. Un ressort plat pesant sur W et y exerçant un frottement, fixe la petite assiette et les parties qui y sont suspendues, dans les positions qu'elles ont prises.

Toutes ces parties, établies et disposées d'une manière extrêmement ingénieuse, travaillent et opèrent avec une sûreté et une rapidité étonnantes, et, à moins d'incidents dont on peut à peine concevoir l'idée, nulle erreur mécanique n'est possible.

Nous avons déjà dit plus haut que les moteurs individuels doivent se *devancer ou se poursuivre*

les uns les autres, pour que la transposition des dizaines puisse se faire exactement. Dans l'arithmomètre qui nous occupe, c'est le mouvement de *poursuite* qui est employé; ce mouvement s'élève d'un cylindre à l'autre, à une division de dent, comme on peut le voir aux cylindres A_1 et A_2.

C'est ce qui fait que la dernière dent, qui est une dent d'unités, a déjà passé dans chaque mécanisme par le point d'engrenage, quand la dent de gauche suivante qui appartient à un ordre plus élevé, vient à agir. Il s'en suit que, du moment que la transposition des dizaines est convenablement préparée sur une roue quelconque, elle s'exécute aussi immanquablement grâce au mouvement de poursuite en question. Mais, pour éviter des erreurs sous ce rapport, il faut aussi que *l'arc vide* soit établi sur le cylindre moteur.

Nous avons laissé de côté les leviers du mécanisme moteur, parce qu'ils peuvent être organisés de nombreuses manières également avantageuses. Pour que le système des leviers reste dans une position fixe tant que la manivelle ne se trouve pas dans sa position initiale (marquée à la figure), un des leviers s'applique à un disque qui est placé à gauche sur le premier arbre de rouage moteur. Ce

disque qui fait un tour à chaque mouvement entier de manivelle, a une échancrure radicale qui se place juste vis-à-vis le levier en question, lorsque la manivelle est en O ; il permet donc au levier de passer de l'autre côté du disque, lorsqu'on presse le bouton qui y correspond.

Nous avons encore omis plusieurs autres détails mécaniques qu'il est également facile de remplacer ; tel est *le rouage du quotient*. Celui-ci ne peut être mis en mouvement que du point de l'axe A des unités, et il ne met chaque fois en mouvement qu'un seul disque de ce rouage sans transposition des dizaines, parce qu'à la division il n'y a jamais de quotients partiels plus élevés que 9.

Ce qui mérite encore une mention particulière, c'est l'*effaceur* marqué à la fig. 2, et partiellement détaillé à la fig. 6. L'effacement se fait par une barre dentée qui d'ordinaire ne s'engrène pas dans les tournants qui s'y rapportent et qui sont placés sur les axes du cadran. Mais si l'on transpose la barre dentée, ce qui se fait en tournant par un bouton qui meut constamment un tournant particulier qui s'y engrène, le plan oblique CD qui glisse le long de la pointe *cd*, force la barre dentée à mordre les petites roues *b* qui se mettent toutes

en mouvement. Ces petites roues, primitivement à 10 dents, n'en opposent aucune à 0, et ne sont, par conséquent, plus suivies par la barre dentée, du moment que 0 s'est montré au trou de vision. Il faut donc que tous les cadrans arrivent rapidement en 0, dès qu'on laisse aller et venir plusieurs fois de suite la roue dentée, dont le tournant est constamment repoussé par un ressort spiral.

Le maniement et l'entretien de l'instrument n'ont pas de difficulté. Il faut huiler convenablement la machine qu'il est facile de sortir de sa caisse. Le meilleur moyen consiste à plonger tout le mécanisme jusqu'à la plaque couvrante dans une huile très-fine, et de le laisser s'égoutter un jour, pour s'en servir ensuite pendant des années. Il va sans dire qu'il faut le préserver de la poussière ; du reste, la caisse très-bien exécutée est organisée dans ce but. Le maniement de la manivelle s'acquiert facilement; il suffit presque toujours de la remuer légèrement pour faire disparaître une perturbation accidentellement survenue.

Sceaux. — Typographie de E. Dépée.

SOUS PRESSE :

Sur le mouvement et la dérivation des projectiles oblongs, par le lieutenant en premier Rutzky, traduit de l'allemand, avec l'autorisation de l'auteur, par M. Rieffel, ancien professeur aux Ecoles impériales d'artillerie. 7 fr.

Sur la déviation des projectiles, par G. Magnus. Seconde édition corrigée et augmentée. Traduite par Rieffel, ancien professeur aux Ecoles impériales d'artillerie.

Artillerie de campagne rayée, système La Hitte. Traduction française.

Constitution et organisation de l'armée de terre des Etats-Unis de l'Amérique septentrionale, par Fr. de la Fruston.

AVIS.

MM. les auteurs de tous ouvrages, inventions ou perfectionnements qui se rapportent aux *sciences militaires ou navales* en général, ou aux sciences des *armes spéciales*, sont priés de faire parvenir un exemplaire à M. Corréard, éditeur, Paris, Place Saint-André-des-Arts, 3.

MM. les éditeurs et libraires d'ouvrages de science militaire et navale sont priés d'envoyer des exemplaires à la même adresse.

Il sera rendu de l'ouvrage reçu un compte impartial et aussi détaillé que le comporte l'importance du sujet traité, soit dans le *Journal des sciences militaires*, soit dans le *Journal des armes spéciales*.

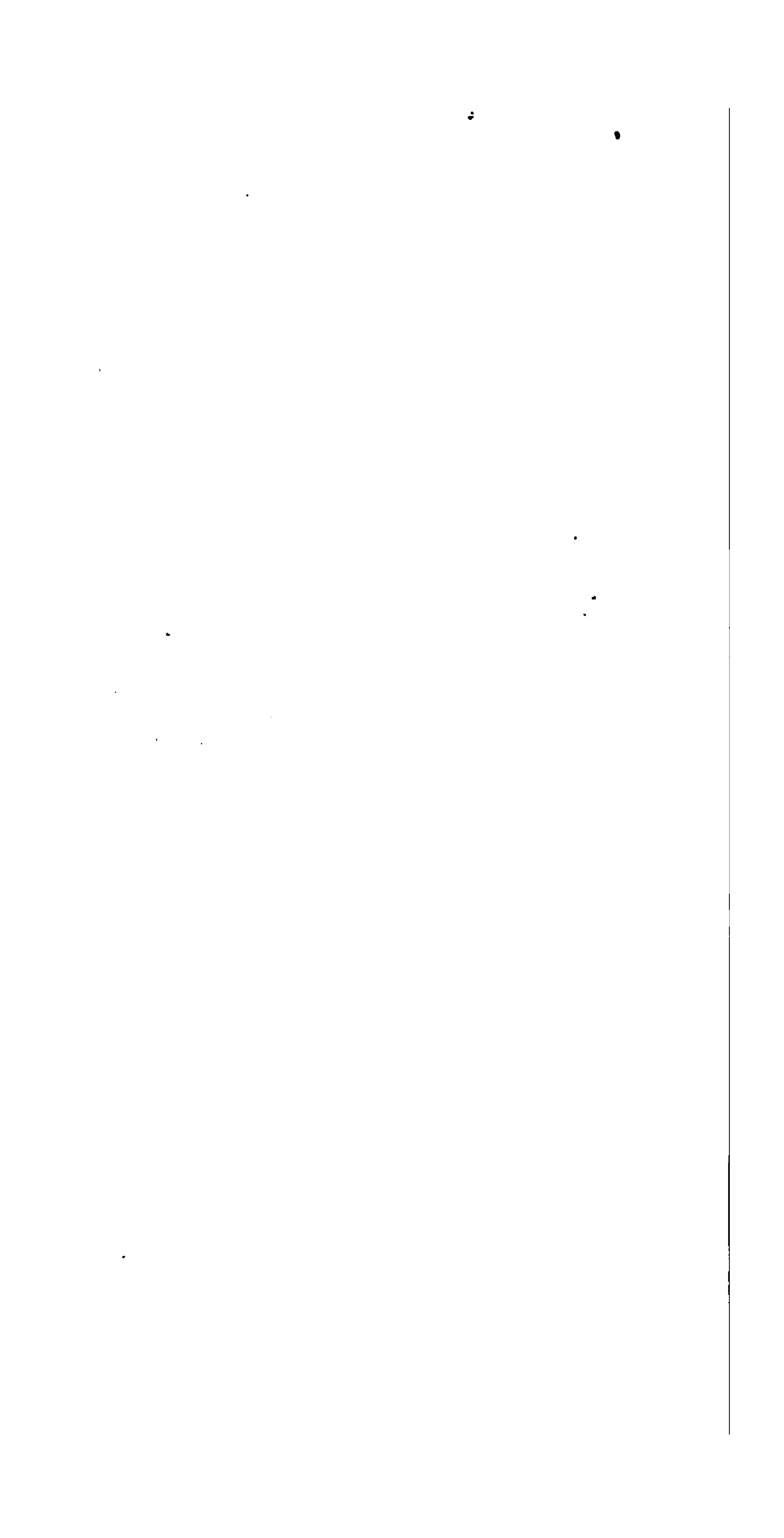
Imprimerie de E. Dépée, à Sceaux (Seine).

Fig. 1.

Fig. 6.

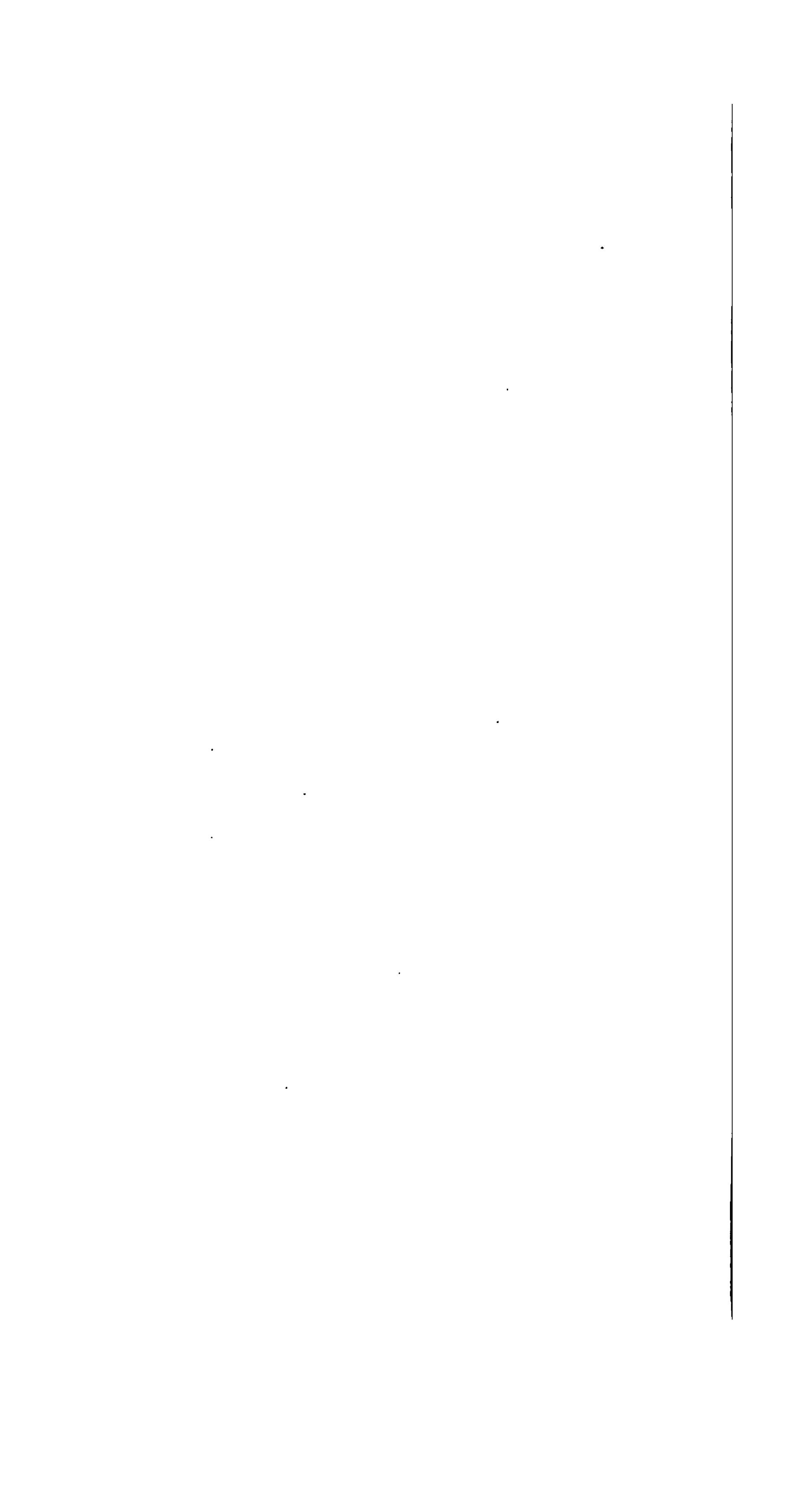
Lith. J. Fromont r. d. Fossés St Victor, 12.

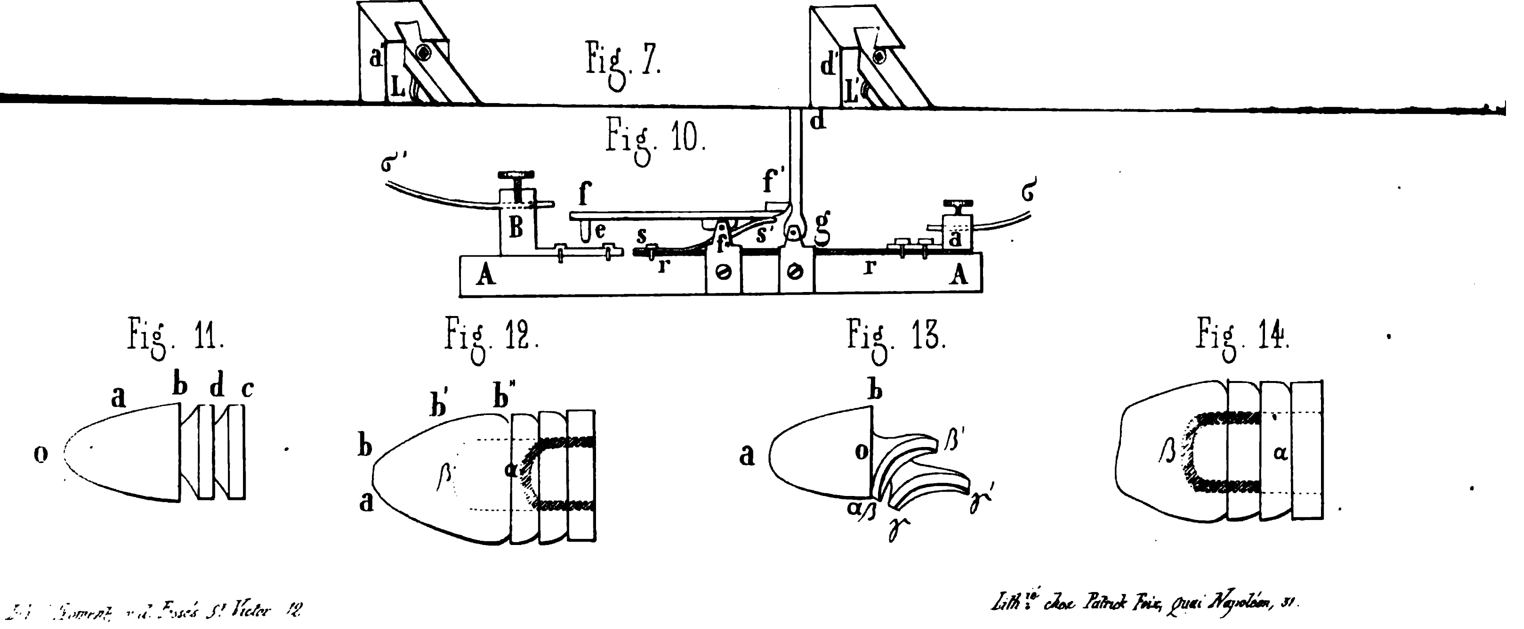
Lith. chez Patrick Fox, Quai Napoléon



c a" v v b' c

Lith.^ie chez Patrick Foix, Quai Napoléon 31.





Lith^ie chez Patrick Friz, Quai Napoléon, 31.

JOURNAL DES ARMES SPECIALES.

ÉTUDES

DE

BALISTIQUE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE

AYANT PARTICULIÈREMENT POUR OBJET LES NOUVELLES ARMES A FEU PORTATIVES DE L'ARMÉE IMP. ET ROY. ET LES CARABINES-MINIÉ DE L'ARMÉE FRANÇAISE,

Par **Joseph-George BOEHM**, directeur de l'observatoire I. et R., professeur titulaire du cours public d'astronomie, à Prague, membre du conseil I. et R. de l'instruction publique et de plusieurs sociétés savantes. (Extrait des *Annales de la Société royale des Sciences de Bohême*, 5ᵉ série, 11ᵉ volume). Traduit de l'allemand par **J.-B. TARDIEU**, ancien capitaine d'artillerie.

(Suite. — Voir le numéro de mai, page 248.)

(*b*). *Les épreuves du tir pour la détermination de la durée des trajets*. Quoique l'on eut déjà sous la main une partie des objets nécessaires, la conception et l'établissement des appareils qui viennent d'être décrits, exigèrent plusieurs semaines de l'activité la plus soutenue, et nous avons la ferme assurance qu'on rendra justice à notre zèle,

quand on apprendra que, dès le milieu du mois de juin nous fûmes à même de commencer les épreuve de tir, qui eurent lieu dans la plaine inculte d'Holeschowitz, près de Prague, laquelle appartient à la caisse militaire de l'empire, et reste destinée aux exercices à feu.

A cet effet, le capitaine Andrès fit construire à l'entrée de la plaine deux baraques en bois dont l'une servait à abriter les appareils *a*, *b*,.... *e*, le baromètre, le thermomètre, les munitions et quelques objets accessoires; l'autre, les parties moins délicates de l'attirail. Il s'occupa également de l'installation des conducteurs électriques, de l'affût et de l'élévateur ainsi que de la cible, ce qui lui fournit en même temps l'occasion de diriger convenablement l'établissement de chacune des différentes parties du système, et d'exercer à leur service les hommes que nous avions à notre disposition. Quelque simple que cela paraisse au premier abord, cela exige néanmoins beaucoup d'activité, et il y a toujours dans les commencements bien des choses à rectifier et à changer avant que tout réponde entièrement à ce qu'on désire. Je n'éprouve donc aucune répugnance à avouer, que nous n'échappâmes pas aux inconvénients

ordinaires, et qu'il nous fallut commencer par faire dans cette voie non frayée, des expériences dont une première série assez longue ne put être d'aucun usage, vu leur imperfection.

Comme nos expériences ne devaient apporter aucune entrave aux exercices à feu ordinaires de la garnison qui ont lieu dans le même endroit pendant les premières heures de la matinée et de l'après-midi, et comme les exercices à feu de l'artillerie qui commençaient ensuite, en juillet, occupaient toute la matinée, il ne restait à notre disposition que le moment de 4 à 6 heures du soir qui même nous manqua plusieurs fois. Notre temps était donc mesuré bien juste et ne nous permettait pas le choix, si indispensable pourtant, des circonstances extérieures. Il nous fallut, si nous voulions arriver à un résultat quelconque, utiliser tous les instants dont nous pouvions disposer sans tenir compte de ces circonstances, qu'il fît calme et sec ou non, pourvu que le temps ne fût pas trop mauvais. Comme il ne fut pas très-beau durant cet été, il nous causa plus d'une fois des obstacles et des dérangements. Un autre inconvénient dont nous eûmes à souffrir, c'est que la plaine où nous opérions est enfermée

des deux côtés par des champs cultivés dans lesquels il y avait constamment des gens occupés à travailler avec des voitures, des charrues et des chevaux, et qui ne se faisaient pas faute de passer et de repasser sur notre terrain même, souvent sans aucune nécessité. Ce n'est pas tout encore : un chemin carrossable qui conduit à Holeschowitz suit le bord de la plaine d'un bout à l'autre et c'est surtout le matin et l'après-midi qu'il est parcouru par des voitures. Les précautions que nous avions à prendre pour éviter les accidents, et les égards que nous voulions avoir pour les gens occupés de leur travail, nous causèrent également beaucoup de gêne et exigèrent la plus grande attention de notre part.

Nous divisâmes donc notre travail en deux, de sorte que l'un de nous prit le service dans la baraque près des appareils et l'autre à l'extérieur. Ce fut le capitaine Andrès qui prit le plus souvent et surtout dans les derniers temps le service intérieur parce que le séjour renfermé de la baraque était trop contraire à ma santé souffrante. M. le lieutenant Stuna (alors sergent-major dans les cadets) était chargé du soin d'enlever et de remettre les feuilles de papier sur le chronographe et de

quelques autres petites fonctions auxiliaires qui avaient leur utilité.

Pendant que l'expérimentateur de l'intérieur disposait les appareils, celui de l'extérieur s'occupait de l'ajustement du trébuchet, du chargement de l'arme et de son pointage, du placement du fil sur la petite tige qui faisait l'office de gachette, etc., bref de tout ce qui était nécessaire pour faire feu, et quand tout cela était en ordre, il faisait exécuter la sonnerie : attention ! A ce signal l'homme placé près de la cible fixait le levier du *communicateur*, plaçait ce dernier à la distance voulue du fil *k* et s'éloignait. A partir de ce moment les hommes de garde ne laissaient plus passer personne sur la plaine. On attendait alors que l'expérimentateur de la baraque avertît qu'il était prêt à presser sur le levier de la *détente* en criant : tout est prêt ! Là-dessus on vérifiait le pointage, on armait le chien et ce n'est qu'après avoir donné un dernier coup d'œil sur le champ de tir pour s'assurer qu'il était libre, qu'on faisait le commandement : Feu ! auquel on pressait la détente qui faisait partir le coup aussitôt. Le coup parti, si les hommes et les appareils avaient tous rempli leurs fonctions de manière à faire réussir

l'expérience, on recommençait immédiatement toute la manœuvre pour procéder sans retard à un second coup, et ainsi de suite.

Cette manière de procéder, qu'il n'était guères possible d'abréger, exigeait toujours un certain temps ; de plus les précautions nécessaires à la sécurité publique causaient des retards assez considérables, de sorte que nous nous estimions très-heureux quand, pendant le temps dont nous pouvions disposer, nous obtenions de 6 à 10 épreuves fructueuses. Quand nous tirions à de courtes distances de 300 ou 400 pas, cela allait plus vite parce qu'alors il était rare qu'un coup manquât, mais pour les distances au-dessus de 400 pas l'incertitude du coup allait en croissant dans une telle proportion qu'elle devait être mise au nombre des autres causes de retard déjà signalées.

En résumé nous avions toutes les raisons possibles de nous hâter. En conséquence, et quelque nécessaire qu'il parût être de fixer la durée du trajet pour chaque distance par le plus grand nombre d'épreuves possible, nous résolûmes de nous en tenir à 5 coups fructueux pour chacune de ces distances et de passer ensuite à la suivante. Nous fûmes même obligés de nous départir de

cette règle lorsque les distances augmentèrent, et de nous contenter d'un nombre d'épreuves moindre.

Notre intention était de commencer par la distance de 50 pas, puis de progresser toujours de 50 en 50 pas et d'aller aussi loin que le temps et les circonstances le permettraient. Cette méthode qui semble la plus propre à remplir le but qu'on se propose, ne présenterait pas de difficultés particulières dans l'application avec une cible de grandeur suffisante. Mais notre cible qui n'avait, comme on l'a vu, que 6 pieds de haut sur 4 de large, était trop petite et très-difficile à atteindre à de grandes distances. Malgré toutes les précautions que nous prîmes, nous n'aurions pu dépasser la distance de 600 pas sans une grande perte de temps et de munitions. Nous jugeâmes donc prudent de nous arrêter là. En conséquence les épreuves sur la durée des trajets furent exécutées complètement et de 50 en 50 pas, jusqu'à la distance de 600 pas, aussi bien pour la carabine ordinaire des chasseurs par laquelle nous commençâmes que pour le fusil d'infanterie qui vint après. Nous désirions arriver par là à conclure la loi de la variation de la vitesse

d'une longue série non interrompue d'observations sur la durée des trajets.

Dans les expériences sur le fusil à aiguille et la carabine Minié il ne s'agissait plus de vérifier la légitimité d'une loi, mais simplement de comparer les vitesses initiales des projectiles de ces armes avec celle de la balle du fusil d'infanterie. Pour cela il n'y avait pas besoin d'une longue suite d'observations ; l'expérience faite une seule fois ou, pour plus de sûreté, répétée un petit nombre de fois à des distances différentes, suffisait parfaitement. On diminua donc pour ces deux espèces d'armes le nombre de ces distances.

Toujours est-il que les essais sur la carabine ordinaire des chasseurs, par lesquels s'ouvrit la série de nos expériences, ne conduisirent à aucun résultat capable d'être utilisé. Nous avions, en commençant, l'intention de ne tirer que par un temps parfaitement calme, intention qui dut, comme on l'a dit, être bientôt abandonnée. Quand l'air était tranquille la cible de son côté restait complètement immobile, et l'homme placé auprès d'elle pouvait amener le levier du griletto (page 48) en contact immédiat avec le crochet k (Pl. III. Fig. 10, page 47), sans avoir à craindre un effet anticipé et intem-

pestif du communicateur. Il pouvait s'éloigner en toute tranquillité et attendre que le coup fût parti. Mais s'il survenait un peu de vent, et plus il était fort plus il était gênant, la cible ne conservait l'immobilité que pendant les intervalles de calme. Si l'homme avait ajusté convenablement le griletto pendant un de ces intervalles avant de s'éloigner, et si le coup ne partait pas pendant ce moment de calme souvent très-court, le balancement de la cible suffisait pour faire partir le griletto et l'homme était rappelé auprès d'elle par le signal de la trompette. Cela arrivait souvent plusieurs fois de suite avant que le coup pût partir à propos et ces allées et venues continuelles fatiguaient les hommes. Il en résulta qu'ils ne mirent plus le bras de levier *gd* en contact immédiat avec le crochet *k*, mais l'en éloignèrent d'une quantité suffisante pour que le balancement de la cible causé par le vent n'amenât pas le dégagement du levier du communicateur. Mais on ne pouvait pas s'en apercevoir de la baraque et comme, dans ce cas, la formation du courant par le choc du projectile contre la cible se trouvait retardée, l'instant de ce choc était marqué trop tard. Quand il s'agit de la mesure de temps si courts, une erreur de cette nature ne peut

passer inaperçue; mais elle pouvait n'être reconnue qu'après une série de mesures exécutées pour différentes distances. C'est ce qui eut lieu. Les expériences faites furent donc perdues et on n'avait plus le temps de les renouveler dans des circonstances plus favorables. Plusieurs mesures prises pour parer à cet inconvénient furent reconnues insuffisantes, jusqu'à ce qu'enfin, je proposai de garantir la cible contre le vent par un revêtement en papier et que cette proposition prévalut. Le remède fut radical, mais on ne commença à l'employer que pour le fusil d'infanterie.

(C). *Calculs des temps d'après les dessins du chronographe.* Nous avons montré plus haut de quelle manière le chronographe inscrit les moments où le projectile quitte le canon et arrive contre la cible. Il s'agit maintenant de montrer comment on peut déduire de ces représentations graphiques le temps employé par le projectile à franchir la portée.

En laissant aux lettres a, b.... v, β, et γ la signification qu'on leur a donnée plus haut (page 37), en désignant par s le chemin parcouru dans le temps t compté à partir du moment ou le charriot entre en mouvement et en supposant que cette va-

leur de t ne renferme qu'un petit nombre d'unités, on a avec une approximation suffisante

$$t^2 = ps \ldots, \quad (1)$$

équation dans laquelle p représente une constante à déterminer et où le temps t est exprimé en oscillations de notre horloge à demi-secondes, prises pour unités.

Pour trouver p, désignons par x le temps employé à parcourir le chemin ψ, on aura immédiatement les équations

$$\left.\begin{array}{l}(1+x)^2 = p(a+\psi)\\ (2+x)^2 = p(b+\psi)\\ (3+x)^2 = p(c+\psi)\end{array}\right\} \ldots\ldots (2)$$

. . . .

dont on peut tirer des valeurs de p et de x en les employant deux à deux ou bien, ce qui sera toujours préférable, à l'aide desquelles on peut trouver tout de suite les valeurs les plus probables de p et de x par la méthode des moindres carrés; en les employant toutes à la fois. Désignant dans ce cas par dx et par dp les corrections qu'il faut appliquer aux valeurs approximatives de x et de p pour obtenir leurs valeurs les plus probables, chacune des équations (2) (par conséquent chacune des lon-

gueurs mesurées a, b, c,...) conduit à une équation de condition de la forme.

$$0 = (t'-t) + dx - \left(\frac{t+x}{2p}\right) dp \,; \ldots\ldots (3)$$

et de ces dernières on tirera les valeurs de dx et de dp par la méthode connue. Dans l'équation (3), t' représente le temps donné par l'observation et t celui que l'on tire de l'équation (1) par le calcul à l'aide des valeurs adoptées pour p et pour x. Quand on a calculé dx et dp, les valeurs les plus probables des constantes sont :

$$x' = x + dx \text{ et } p' = p + dp$$

Pour éclaircir ce qui vient d'être dit par un exemple, prenons la 2me observation du 14 juillet 1858 dans laquelle on tirait à la charge ordinaire et à une distance de 50 pas.

Les longueurs mesurées sur le dessin autographe donnèrent immédiatement en pouces du Rhin :

$a = 0^{po}.465$	$\psi = 0^{po}.030$
$b = 1.360$	$\beta = 0.328$
$c = 2.738$	$\gamma = 0.482.$
$d = 4.450$	
$e = 6.625$	

En prenant provisoirement :

$$x = 0\overset{\text{po}}{.}465 \text{ et } p = 4.456$$

on obtient à l'aide de l'équation (1) successivement :

$$t' - t = -0.020$$
$$-0.024$$
$$-0.047$$
$$-0.003$$
$$+0.019$$

puis à l'aide des équations (3) les valeurs les plus probables :

$$dx = 0\overset{\text{po}}{.}0368 \qquad dp = 0.05586$$

Et puisqu'on a adopté approximativement :

$$x = 8\overset{\text{po}}{.}465 \text{ et } p = 4.456$$

on obtiendra, pour les valeurs les plus probables, des constantes :

$$x' = 0\overset{\text{po}}{.}502 \text{ et } p' = 4.5119.$$

Si, pour vérifier, on introduit ces valeurs dans l'équation (1), on obtient pour les différences entre les temps calculés et les temps observés, les nombres :

$$t' - t = -0.008$$
$$-0.002$$
$$-0.032$$
$$+0.006$$
$$+0.022$$

qui expriment des oscillations du pendule, en sorte que l'incertitude du calcul des temps à l'aide des dessins de l'autographe peut être considérée, dans ce cas, comme ne dépassant pas $^{1}/_{100}$, de seconde. Tous les dessins obtenus n'ont pas donné des résultats aussi favorables, mais dans tous les cas l'incertitude dans la détermination des temps se maintient entre des limites qui peuvent être considérées comme parfaitement suffisantes dans le cas présent et dans beaucoup d'autres. En effet, une longue suite de calculs semblables nous a appris que cette incertitude ne dépassait pas, en moyenne, $^{2}/_{100}$ de seconde.

Quand on a trouvé la valeur de p par une des méthodes indiquées, on obtient immédiatement par les expressions

$$\tau = p \cdot \beta \quad \text{et} \quad \tau_1 = p \cdot \gamma \qquad (4)$$

les temps τ et τ_1 écoulés depuis le départ du charriot jusqu'au moment où le projectile quitte le canon et atteint la cible. La différence

$$(\tau_1 - \tau) = \frac{p(\gamma - \beta)}{(\tau_1 + \tau)} \qquad (5)$$

donne la durée du trajet ; tout étant exprimé, ainsi

qu'on l'a dit, en battements du pendule. Dans notre exemple on trouve

$$\tau = 1.216 \text{ et } \tau_1 = 1.475$$
$$\tau_1 - \tau = 0,259 \text{ d'une oscillation.}$$

Chacun de ces calculs pris à part n'est pas d'une grande importance, mais comme il faut les faire pour chaque observation, c'est-à-dire pour chaque coup, le travail gagne par là considérablement en étendue. Toutefois la cause en est attribuable non pas à l'autographe lui-même, mais aux circonstances défavorables dans lesquelles il était condamné à fonctionner. Dans des circonstances favorables et si l'on eût pu se mettre à l'abri de toutes les influences fâcheuses, le mouvement du charriot aurait dû se reproduire avec une grande uniformité d'une expérience à l'autre, de sorte que la quantité p eût été une véritable constante et il eût suffi de la déterminer par quelques essais au commencement, au milieu et à la fin de la campagne. Dans ces conditions propices de régularité, une petite table construite à l'aide de l'éq. (1) où l'on ferait varier la valeur de s, donnerait tout de suite la valeur correspondante de τ et l'on éviterait tout calcul. Mais par suite des influences

sous lesquelles se trouvaient nos appareils qui pouvaient à peine être protégés contre la pluie tandis que le champ restait entièrement libre à l'humidité, à une abondante poussière, à la rouille et que de plus chaque coup produisait une secousse qui se faisait ressentir jusque dans les tables sur lesquelles ces appareils étaient établis, on pouvait présumer que chaque trajet du charriot devait avoir sa constante particulière, quoique les différentes valeurs de cette constante fussent très-voisines de l'égalité. Une simplification du calcul n'était pas possible dans de telles conditions.

Il fallait arriver enfin à changer les temps, exprimés en oscillations de notre pendule, en secondes de temps moyen puisque ces dernières sont généralement admises comme unité de temps. Notre horloge battant, à très-peu de chose près, les demi-secondes, en divisant par deux le temps trouvé pour le trajet en battements du pendule, on l'obtenait à très-peu près en secondes.

Chaque fois qu'on opérait ou qu'on pouvait supposer qu'il s'était produit un changement dans la tige du pendule, je le réglais au moyen du chronomètre dont j'ai parlé, et comme la marche de ce dernier comparée au temps moyen était exactement

connue, j'en déduisais la correction à faire aux temps des trajets pour les transformer en secondes de ce temps. Désignant par μ un facteur qui dépend de la marche de l'horloge, et par T la durée du trajet en temps moyen, on a

$$T = \frac{(\tau_, - \tau)}{2} + \mu \frac{(\tau_, - \tau)}{2}$$

$$= (1 + \mu) \frac{(\tau_, - \tau)}{2}.$$

J'avais obtenu le 14 juillet :

$$\mu = - 0.0359,$$

l'exemple précédent donne donc :

$$\tau_, - \tau = 0.259,$$

et immédiatement en secondes :

$$T = 0''.122.$$

Mais la durée ainsi calculée ne serait la vraie durée que si les effets produits par les appareils étaient réellement instantanés, ainsi qu'on le suppose, et suivis en outre immédiatement de la production et de la communication du courant et comme cette supposition n'a pas le degré d'exactitude qu'on a coutume de lui attribuer, il s'ensuit des retards qu'il faut écarter des résultats. Dans le cas qui nous occupe cette remarque ne peut s'ap-

pliquer qu'à l'enregistrement de l'arrivée de la balle contre la cible lequel selon toute probabilité, ne s'opère qu'un peu après l'instant réel du choc. Mais ce retard, s'il a lieu, sera indépendant de la distance à laquelle se trouve la cible (tant que cette dernière ne sera pas trop éloignée), c'est-à-dire qu'il sera toujours le même quelle que soit cette distance.

Si donc D. et d sont les distances pour lesquelles on a trouvé immédiatement les durées de trajet T et t, si l'on désigne en outre par θ le retard subi par l'inscription et par T_0 et t_0 les vraies durées affranchies de tout retard, on a d'après ce qui vient d'être dit

$$T_0 = T - \theta$$
$$t_0 = t - \theta$$

d'où :

$$T_0 - t_0 = (T - t),$$

pour la vraie durée correspondante à la distance D — d. Si la distance d est très-petite,

$$x = \frac{d}{D}(T - t)$$

exprime évidemment le temps très-court que le projectile a employé à la parcourir.

$$T_0'' = (T - t) + x$$

sera donc la vraie durée du trajet, pour la distance D, dégagée du retard qui vient de l'appareil.

Pour éclaircir immédiatement ce qu'on vient de dire par un exemple, nous avons trouvé plus haut pour la distance

$$D = 50 \text{ pas } T = 0''.122.$$

En répétant le même calcul pour une série de 9 coups tirés à une distance de 3 pas et avec des résultats suffisamment concordants, nous obtînmes

$$d = 3 \text{ pas } t = 0''.039.$$

On a donc :

$$x = 0''.005,$$

pour le temps employé par le projectile à parcourir la petite distance de 3 pas, et la vraie durée du trajet pour la distance de 50 pas (à laquelle se rapporte le coup dont il s'agit), sera

$$T_0 = 0''.088.$$

D'après la remarque faite plus haut, afin d'échapper aux erreurs provenant des appareils nous avons tiré une série de coups à la distance de 3 pas et nous en avons déduit

$$t = 0''.039.$$

d'où résulte, puisqu'on trouve $x = 0'',005$, le retard considérable d'environ $0'',034$. Les résultats obtenus dans chaque cas particulier concordèrent de telle sorte que l'erreur probable de la détermination précédente peut être évaluée à $0'',022$ et l'on peut se contenter de cette approximation vu les circonstances dans lesquelles nous opérions. Nous devons faire remarquer à cette occasion que la cible était soustraite aux influences extérieures par le revêtement en papier qui ne laissait passage qu'au projectile et qu'en conséquence l'expansion des gaz ne pouvait agir sur elle.

(D) *Durées des trajets réduites*; pour le fusil d'infanterie, le fusil à aiguille et la carabine Minié. Nous avons exposé notre manière de procéder pour la détermination des durées des trajets, avec tous les détails que nous avons jugés nécessaires et nous passons maintenant aux résultats immédiats de nos expériences. Mais ici nous croyons devoir éviter toutes les longueurs superflues.

Si nos essais avaient été destinés à servir de base à des conclusions et à des lois définitives qu'on eût dû en déduire, il serait de toute nécessité de les exposer dans le plus grand détail, d'en dresser en quelque sorte un procès-verbal afin que chacun

puisse en vérifier à volonté toutes les particularités et apprécier le degré de confiance qu'on pourrait avoir dans des résultats destinés à faire loi. Mais quand il s'agit d'expériences comme les nôtres qui n'avaient d'autre but que de découvrir la voie à suivre pour procéder utilement à des essais définitifs, et qui par conséquent ne sont présentées qu'à titre d'essais préliminaires, il n'y aurait aucune raison d'entrer dans les détails, à moins qu'ils ne soient tout à fait indispensables pour éclairer la marche des opérations.

Ainsi donc, je donne ici, en supprimant les détails, les durées des trajets telles que nous les avons déduites de nos épreuves sur les différentes espèces d'armes, en suivant la méthode indiquée et telles qu'elles ont été adoptées pour servir de base aux considérations ultérieures.

FUSIL D'INFANTERIE.

Distances. s		Durées. t	
50	pas	0".110	temps moyen.
100	—	0.302	—
150	--	0.336	—
200	—	0.535	—
250	—	0.697	—

Distances.		Durées.	
s		s	
300	pas	0.924	temps moyen.
350	—	0.944	—
400	—	1.153	—
450	—	1.208	—
500	—	1.491	—
550	—	1.776	—
600	—	2.092	—

Ces nombres sont les valeurs moyennes déduites de plusieurs coups (3 au moins, 5 au plus). Leur degré d'exactitude est difficile à déterminer. J'ai fait tout ce qui était possible à cet égard, et j'ai cru pouvoir évaluer l'erreur moyenne pour une observation isolée (provenant d'un seul coup) à

0".063,

ce qui fixerait la probabilité des nombres précédents, entre

0".036 et 0".026 (1).

(1) Pour donner une mesure exacte du degré de confiance qu'on peut avoir dans ces nombres, je rappellerai qu'Otto a trouvé pour l'erreur probable de ses durées de trajet dont le calcul repose sur 30 observations séparées :

0".014,

et comme le calcul des nôtres est fondé sur un nombre d'ob-

Néanmoins, pour quelques-unes de ces observations qui pourraient être soumises à un ensemble d'influences défavorables l'incertitude prendrait une valeur plus élevée.

Aux causes d'erreur déjà signalées plus haut il faut encore ajouter les inégalités inévitables du chargement d'un coup à l'autre. Abstraction faite de ce que les cartouches ne contiennent pas des quantités de poudre absolument égales en poids et de ce que les projectiles présentent aussi de légères inégalités du même genre, il est de la dernière évidence que les variations dans la position de la balle, etc., agissent aussi et que leur action devait avoir plus de part aux erreurs moyennes de nos essais que l'imperfection des appareils et les autres circonstances désavantageuses. Dans des épreuves définitives il faudrait faire en sorte d'arriver autant que possible à une parfaite égalité des chargements.

servations qui varie de 3 à 5, ce qui donne une incertitude de :

0''.031.

son erreur probable, s'il s'appuyait sur 30 observations distinctes, serait de :

0''.0096 seulement.

FUSIL A AIGUILLE.

Distances.		Durées.	
100	pas	0ˢ.2731	temps moyen.
250	—	0.7271	—
300	—	1.0000	—
350	—	1.0615	—
400	—	1.2164	—
500	—	1.6361	—

CARABINE-MINIÉ.

Distances.		Durées.	
50	pas	0ˢ.2195	temps moyen.
100	—	0.2097	—
200	—	0.6592	—
300	—	0.9285	—

(E) *Vitesse initiale, résistance de l'air*. Malgré tout ce que nos essais laissent à désirer, ils n'en remplissent pas moins parfaitement leur but principal puisqu'ils montrent comment, dans des circonstances favorables, on serait à même de déterminer avec exactitude et précision une série complète de durées des trajets pour différentes distances choisies à volonté. Dans une telle série la loi de la décroissance de la vitesse apparaît immédiatement et il ne s'agit plus alors que de trouver une forme

analytique sous laquelle elle puisse être exprimée. La découverte de la forme absolue de cette loi est à peu près impossible et il y a tout lieu de croire que si l'on réussissait à la faire, la formule trouvée ne présenterait pas la simplicité dont nous avons toujours besoin dans nos considérations géométriques quand elles doivent recevoir une application pratique. Les recherches dirigées dans ce sens doivent être abandonnées aux théoriciens purs; dans l'usage on devra se contenter de la formule qui représente le plus exactement possible les observations faites.

Si les résultats de l'observation (ici les durées des trajets) étaient absolument exempts d'erreur, on pourrait exiger que les durées déduites de la formule par laquelle on exprime la loi phoronomique concordassent entièrement avec celles déduites de l'observation. Mais comme nos données et même les résultats des épreuves les plus exactes sont et seront toujours entachés de certaines erreurs inévitables, on ne pourra jamais s'attendre à une pareille concordance ni l'exiger. Il faudra toujours se contenter d'une concordance aussi approchée que possible sinon absolue. Entre deux formes de la loi on devra préférer celle par laquelle

on pourra le mieux mettre le calcul et l'observation d'accord entr'eux, et si cet accord est tel que les différences obtenues deviennent aussi petites ou du moins ne restent pas plus grandes que l'exactitude des observations ne le comporte, on aura atteint tout ce que l'on pouvait désirer et ce au delà de quoi nous ne trouverions plus rien qui pût servir de base à une appréciation plus certaine. Il suit de là que si l'on trouve une formule qui réponde aux exigences voulues dans les limites indiquées, les recherches pourront être considérées comme terminées, surtout si cette formule possède la simplicité convenable.

On s'est conformé jusqu'ici le plus ordinairement à l'hypothèse de Newton d'après laquelle la résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse avec laquelle le projectile se meut. Soient donc w la résistance de l'air, v la vitesse et m un coefficient qui dépend de la forme du projectile, de la densité de l'air, etc., on aura dans cette hypothèse :

$$w = m v^2.$$

Si l'on n'a pas égard à l'angle de tir, ainsi que cela est parfaitement permis pour nos expériences,

et si l'on considère le chemin parcouru comme horizontal, la force retardatrice sera

$$\frac{dv}{dt} = - m v^2, \text{ d'où } m.dt = - \frac{dv}{v^2} \text{ ..... (1).}$$

Si maintenant on désigne par *ds* le chemin parcouru dans le temps *dt*, on aura en outre à cause de

$$ds = v\, dt,$$

$$\frac{dv}{v} = - m\, ds,$$

et en intégrant

$$v = C.e^{-ms}.$$

Comme d'ailleurs en représentant par *c* la vitesse initiale, on doit avoir $C = c$ quand $s = o$ on obtiendra en définitive

$$v = ce^{-ms} \text{ ... (2).}$$

Si l'on intègre l'éq. (1), on en tire

$$\left(m t = \frac{1}{v} + C\right),$$

et comme pour $t = o$ on a de nouveau $v = c$, on obtient finalement :

$$t = \frac{1}{m}\left[\frac{1}{v} - \frac{1}{c}\right] \text{.... (3).}$$

Des éq. (2) et (3) on conclut rigoureusement

$$ct = \frac{e^{ms} - 1}{m} \ldots . (4).$$

ou bien, puisque *m* est toujours petit, par approximation

$$ct = s\left[1 + \frac{ms}{1.2} + \frac{(ms)^2}{1.2.3} + \ldots\right] \ldots . (5).$$

Ces expressions conduisent immédiatement à une détermination provisoire des constantes *c* et *m*. Si l'on prend pour

$$s = 50 \text{ pas } t = 0''.140$$
$$s = 550 \text{ » } t = 1.776$$

comme nous l'avons trouvé par nos expériences sur le fusil d'infanterie, l'éq. (3) donne

$$c = 471.96 \text{ pas}$$
$$m = 0.001495,$$

pour valeurs approchées de la vitesse initiale et du coefficient de résistance.

Ayant calculé ces valeurs approchées de *c* et de *m*, si l'on désigne par *dc* et *dm* les corrections à y faire pour obtenir leurs valeurs exactes, chaque distance avec la durée correspondante du trajet

donnera une équation de condition de la forme

$$0 = \left[\frac{s}{c} e^{ms} - t\right] \frac{dm}{m} - t \frac{dc}{c} + (t - t') \ldots . (6).$$

dans laquelle t désigne le temps du trajet donné par l'observation, et t' ce même temps calculé à l'aide de la formule (4) en y introduisant les valeurs approchées, trouvées pour c et m. De ces équations on déduira les valeurs les plus probables de dc et de dm par la méthode des moindres carrés et alors

$$\left.\begin{array}{l} c' = c + dc \\ m' = m + dm \end{array}\right\}$$

seront aussi les valeurs les plus probables de c et de m.

Appliquons cela à l'exemple que nous avons choisi et exécutons le calcul avec les valeurs

$$c = 472.0 \text{ pas et } m = 0.0014950,$$

nous obtenons :

$$dc = -8.11 \text{ pas et } dm = -0.00008501,$$

par conséquent :

$$c' = 463.89 \text{ pas et } m' = 0.001410;$$

je n'ai pas fait entrer dans ce calcul les distances de 300 et de 450 pas avec les durées de trajet cor-

cul. On reconnaît à la simple inspection qu'elles varient dans un sens et dans l'autre sans suivre aucune loi déterminée ; elles ont, par conséquent, tout à fait le caractère d'erreurs dues au hasard, ce qui ne pourrait avoir lieu si leur cause devait être attribuée, au moins pour la plus grande part, à la forme de l'expression que nous avons prise pour base de leur calcul.

Nous devons donc, si nous voulons rester tout à fait dans la vérité, considérer ces différences comme provenant des erreurs d'observation et du défaut d'exactitude de l'hypothèse sur laquelle s'appuient nos calculs. Dans ce cas la somme de leurs carrés sera une donnée sur laquelle nous pourrons appuyer notre jugement, car toute autre hypothèse dont on pourra partir conduira à une plus grande ou bien à une plus petite somme des carrés de ces différences et l'on a tout lieu de considérer comme satisfaisant le mieux aux conditions désirées celle qui fournit la plus petite somme des carrés. Si les différences entre le calcul et l'observation, auxquelles cette hypothèse donne lieu, ne sont soumises à aucune loi, si elles se maintiennent entièrement ou du moins en majeure partie dans les limites des erreurs inévitables d'observa-

tion, l'hypothèse répond aux faits aussi complètement qu'on peut l'exiger et qu'il est nécessaire pour le champ auquel se rapportent les épreuves.

C'est ce qui a lieu pour l'hypothèse de Newton dont nous sommes partis. La somme des carrés des différences entre les temps calculés et les temps observés n'est que de

0.0195.

J'ai exécuté le calcul en donnant à la loi de la résistance les diverses formes qui peuvent raisonnablement lui être attribuées, et aucune de ces formes ne m'a conduit à une somme de carrés aussi petite. Du reste ces différences ne sont ici soumises à aucune loi apparente et, vu leur grandeur, elles peuvent parfaitement s'expliquer par les erreurs d'observation et par l'imperfection et l'incertitude de nos épreuves. Celles même qui répondent aux distances de 300 et de 450 pas, et dont nous n'avons pas tenu compte dans le calcul, n'apportent aucun changement à cette conclusion.

Il n'y a donc pas le moindre doute que la supposition de la résistance de l'air proportionnelle au carré de la vitesse, ne soit en état d'expliquer les phénomènes balistiques qu'offrent nos projec-

tiles, avec une approximation pleinement satisfaisante. Ceci, naturellement, n'est rigoureusement vrai que pour les distances dans les limites desquelles nous avons expérimenté. Pour des distances plus grandes et pour d'autres projectiles, il faudrait avoir recours à des épreuves plus étendues, pour lesquelles néanmoins on pourrait toujours adopter une voie analogue à celle que nous avons suivie. Les expériences pour la détermination de la trajectoire dont il sera question dans la seconde partie de ce traité, confirment ce qu'on vient de dire de la manière la plus satisfaisante et le but de nos essais, qui était de montrer qu'en suivant le procédé adopté par nous on pouvait trouver avec toute la précision nécessaire dans la pratique la loi suivant laquelle varie la vitesse du projectile, a donc été pleinement atteint malgré les circonstances peu favorables où nous nous trouvions placés.

Il n'est pas besoin de faire remarquer que les valeurs absolues des nombres que nous avons obtenus et que nous obtiendrons par la suite pour les diverses constantes n'ont ici absolument aucune importance. Ils ne pourraient avoir de signification et appeler la critique que dans le cas où il s'agirait non plus d'essais préliminaires pare-

ment instructifs mais de déterminations définitives destinées à faire loi.

En attendant, rien ne s'oppose à ce que l'on considère ces nombres comme des valeurs approchées des diverses constantes, et ils nous offriront même, à ce titre, un appui très-précieux dans nos considérations ultérieures; par cette raison nous leur consacrerons encore quelques lignes.

Si nous désignons une fois pour toutes la vitesse initiale par c et le coefficient de la résistance de l'air par m, nous avons trouvé

1. Pour le *fusil d'infanterie*

$$c = 463.37 \text{ pas}$$
$$m = 0.0014049.$$

Les erreurs moyennes de ces deux déterminations peuvent être évaluées à

$$25.0 \text{ pas}$$

pour la vitesse initiale, et à

$$0.0001729$$

pour le coefficient de résistance. Ces valeurs correspondent à une hauteur barométrique moyenne de

$$b = 329.2^{\text{lignes}} \text{ (mesure de Paris)},$$

et à une température moyenne de

$$t = + 19^{\circ}.4 \text{ Réaumur.}$$

On voit par-là combien il faudrait que les observations fussent exactes et nombreuses pour arriver à une approximation d'un nombre de pas au-dessous de dix.

2. Pour le *fusil à aiguille* les durées des trajets pour 100, 400 et 500 pas, donnent

$$c = 410.91 \text{ pas}$$
$$m = 0.0011753,$$

avec les erreurs moyennes de

$$44.51 \text{ pas et de } 0.0004038,$$

la pression barométrique était :

$$b = 330\overset{\text{lignes}}{.}09,$$

la température de l'air :

$$t = + 18^{\circ}.4 \text{ Réaumur.}$$

3. Enfin, on trouve, pour la *carabine-Minié :*

$$c = 361.60 \text{ pas}$$
$$m = 0.0011588,$$

sous la pression barométrique :

$$b = 330\overset{\text{lignes}}{.}00,$$

et à la température de l'air :

$$t = + 22^{\circ}.0 \text{ R.}$$

Mais l'incertitude de ces dernières valeurs est très-grande.

Les constantes trouvées pour la carabine Minié ne peuvent donc être considérées que comme des à peu près et devront être rectifiées à l'aide d'une autre méthode.

La vitesse initiale est indépendante des éléments météorologiques, mais il n'en est pas de même de la résistance de l'air qui est proportionnelle à sa densité. Et comme cette dernière dépend de la hauteur du mercure dans le baromètre et de la température de l'air, les valeurs du coefficient m déduites de diverses séries d'observations devront, pour permettre la comparaison, être réduites à une hauteur barométrique et à une température communes.

Désignons par m_0 le coefficient de la résistance réduit à la hauteur de 328^lig.^00, mesure de Paris, et à la température de 0° R, tandis que m désignera le coefficient qu'on a trouvé pour une hauteur de 328^lig.^ $+ b$ et une température de $t°$ R. Nommons en outre l_0 et l les densités de l'air correspondantes aux deux états météorologiques, on aura, comme on pourrait le montrer aisément,

$$m_0 - m = \frac{l_0 - l}{l} m.$$

Et si l'on prend pour unité la densité maximum de l'eau, il sera suffisamment exact pour le calcul dont il s'agit, de poser les formules suivantes :

$$a = 0{,}000003861 \qquad \log.\ a = 4{,}58672$$
$$a' = 0{,}000005940 \qquad \log.\ a' = 4{,}77376$$

et
$$l_0 - l = -\ ab + a't$$
$$l = 0.001236 + ab - a't$$

à l'aide desquelles la réduction nécessaire à une pression et à une température communes de 328,0 lig. et de 0°R pourra être opérée immédiatement (1).

(1) Dans des expériences plus complètes, où il s'agirait de fixer la valeur des constantes de manière qu'elles puissent servir de base aux calculs, on procéderait autrement pour réduire le coefficient de la résistance à la pression et à la température normales. Dans ce cas, on pourrait appliquer aux durées des trajets obtenues chaque jour les corrections de pression et de température, en employant les valeurs approchées de *c* et de *m*, et en déduire les durées *t* que l'on aurait obtenues si la pression et la température eussent été normales. De l'éq. (4) (page 75), suit immédiatement :

$$dt = \left(\frac{s}{c}e^{ms} - t\right)\frac{dm}{m},$$

et comme ici $dm = m_0 - m$, on obtient pour la durée réduite à la densité normale de l'air :

$$t_{,} = t - \left(\frac{s}{c}e^{ms} - t\right)\frac{m_0 - m}{m},$$

ou
$$t_{,} = t + \left(\frac{s}{c}e^{ms} - t\right)\frac{l_0 - l}{l}.$$

Dans notre exemple nous obtenons avec les données indiquées plus haut (page 83 et 82), pour

le *fusil d'infanterie*, $m_0 = 0.001543$
le *fusil à aiguille*, $m_0 = 0.001280$
la *carabine-Minié*, $m_0 = 0.001287$.

Quand on aura trouvé la formule par laquelle les durées observées peuvent être représentées d'une manière entièrement satisfaisante, c'est alors mais alors seulement qu'il sera temps de passer à la détermination de la trajectoire par la voie expérimentale.

Par exemple, nous avons trouvé pour $s = 500$ pas, $t = 1^s.491$. Supposons que pendant l'expérience la pression barométrique ait été $329^{li}.21$ et la température $+ 19^{\circ}.4$; d'où $b = 1^{li}.21$, $t = 19^{\circ}.4$ et

$$\log. \frac{l_0 - l}{l} = 8.99224.$$

Prenons provisoirement $c = 463$ pas, $m = 0.0014$, nous obtiendrons :

$$\log. \left(\frac{s}{c} e^{ms} - t\right) = 9.83506,$$

par conséquent $t_1 - t = 0^s.067$, et la durée du trajet corrigée serait $t_1 = 1^s.558$.

Ces durées ainsi corrigées seraient ensuite prises pour bases du calcul définitif, et la valeur de *m* qu'on en déduirait serait celle qui répondrait à l'état normal des instruments météorologiques.

La trajectoire réelle déduite des expériences, comparée à celle qu'on détermine par la voie théorique, fournira un second moyen, essentiellement différent du premier, de fixer les valeurs numériques des constantes c et m, et les deux déterminations offriront d'elles-mêmes, par leur mutuel accord, quand il sera possible de le constater, une vérification positive à laquelle on ne pourra rien objecter.

Nos essais dans cette nouvelle voie forment l'objet de la section suivante.

La suite au prochain numéro.

MOUVEMENT ET DÉVIATION

DES

PROJECTILES OBLONGS

INFLUENCE DE LA POSITION DU POINT D'APPLICATION DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR, RELATIVEMENT A CELLE DU CENTRE DE GRAVITÉ, SUR LES CHANGEMENTS DE POSITION DE L'AXE DE ROTATION ; CONSÉQUENCES QUI EN DÉCOULENT QUANT A LA CONSTRUCTION DES PROJECTILES ET DES BOUCHES A FEU.

Par **André RUTZKY**, lieutenant en premier, attaché au comité R. et I. de l'artillerie autrichienne, avec deux planches lithographiées; publié à Vienne, en 1861, et traduit en français par **RIEFFEL**, ancien professeur des Ecoles impériales d'artillerie.

(Suite. — Voir le numéro de Mai, page 337.)

§ 11.

2e CAS : ROTATION DEXTRORSUM, ET RÉSULTANTE DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR PASSANT CONSTAMMENT PAR LE CENTRE DE GRAVITÉ DU PROJECTILE.

Sans doute, ce cas d'une résultante de la résistance de l'air passant constamment par le centre de gravité du projectile, se présenterait toujours, si l'on ne tirait qu'avec des projectiles parfaitement

(16) Voir l'observation de l'avant-dernier alinéa de la note 3 à la fin du mémoire.

sphériques et homogènes; mais il ne saurait se présenter que bien rarement dans le tir des projectiles allongés; et même, s'il se présentait alors, la chose n'aurait lieu que pendant un instant fort court, relativement à la durée totale du mouvement. Toutefois, on entrevoit la possibilité d'imaginer et de construire des projectiles oblongs qui, tirés entre certaines limites d'angles d'inclinaison des pièces, jouiraient de l'avantage que, dans toutes les positions qu'ils seraient susceptibles de prendre le long de la trajectoire, la résultante de la résistance de l'air passerait constamment par le centre de gravité.

Considérons un projectile de ce genre, *ab* (fig. 13), animé d'un mouvement rotatoire *dextrorsum*, et lancé sous une certaine inclinaison au-dessus de l'horizon. Supposons, pour notre raisonnement, ce projectile arrivé au point S de la trajectoire A S B de son centre de gravité, où son axe de figure *ab*, qui est ici, en même temps, et continuera d'être l'axe de rotation, sera resté parallèle à la direction qu'il avait à l'origine du mouvement (17), parce que la résistance de l'air dont la résultante passe par le centre de gravité S du pro-

(17) Voir la note 17 à la fin du mémoire.

jectile ne saurait par conséquent provoquer de mouvement rotatoire dans aucun sens, et que l'axe de figure et de rotation du projectile n'a aucune tendance à changer de position par rapport à l'horizon étant sous l'influence des moments d'inertie des deux mouvements progressif et rotatoire. La pesanteur non plus, ni la pression latérale de l'air provoquée par la rotation ne sauraient déranger le parallélisme de l'axe, puisque la résultante des deux forces passe par le centre de gravité.

En effet, décomposons la résultante de la résistance tangentielle de l'air T S en deux composantes *c* S et *d* S, la première agissant suivant l'axe *a b* du projectile, et l'autre lui étant perpendiculaire; cette dernière résistance, d'après le § 7, engendrera, de concert avec la rotation *dextrorsum* du projectile, une pression latérale sur la partie droite de la surface, qui agira de droite à gauche en passant par le point d'application de la résultante de cette résistance, c'est-à-dire (d'après notre hypothèse), par le centre de gravité sans pouvoir, par conséquent, donner lieu à aucun mouvement rotatoire, et en bornant son effet à pousser le projectile parallèlement à lui-même vers la gauche du plan de tir ou du plan parallèle.

Comme l'angle *b* S T que la tangente S T fait avec l'axe de figure et de rotation *ab* est nul au point de départ, et que delà jusqu'au point d'arrivée, il va toujours en augmentant, il s'en suit que *d* S, la composante perpendiculaire à l'axe, de la résistance tangentielle, ira en augmentant; et qu'il en sera par conséquent de même de la déviation latérale qu'elle produit.

On comprend d'ailleurs que la composante *d*S tend continuellement à relever le projectile et par suite agit dans un sens contraire à celui de la pesanteur; car si on la décompose de nouveau suivant la tangente et suivant la verticale S*f*, la composante S*f* relève le projectile.

En rapprochant les résultats de la discussion du deuxième cas, de ceux que l'on a vu ressortir de l'examen du premier cas, on reconnaît parfaitement que l'on a, en quelque sorte sous la main, un moyen de modifier la dérivation d'un projectile, en en modifiant la construction de manière à y changer convenablement la position du point d'application de la résultante de la résistance de l'air. Car, puisque quand cette résultante coupe l'axe du projectile animé d'une rotation *dextrorsum* en avant du centre de gravité, la dérivation se fait à droite,

tandis qu'elle a lieu à gauche quand cette même résultante passe par le centre de gravité, il doit être possible d'amener les projectiles à rotation dextrorsum à un minimum de dérivation sinon à annuler toute déviation, pour peu que l'on réussisse à amener exactement le point d'application de la résistance de l'air à la position convenable extrêmement rapprochée en avant du centre de gravité. L'annulation complète de toute déviation paraît toutefois difficile à réaliser pratiquement, non-seulement à cause de la difficulté de calculer à priori la position du point d'application de la résistance de l'air, mais encore parce que ce point peut changer de position pendant le trajet, en même temps que l'axe du projectile change à chaque instant la sienne par rapport à l'horizon.

§ 12.

3° CAS : ROTATION DEXTRORSUM; LA RÉSULTANTE DE LA RÉSISTANTE DE L'AIR COUPE L'AXE LONGITUDINAL DU PROJECTILE EN ARRIÈRE DU CENTRE DE GRAVITÉ.

Ainsi qu'il a déjà été dit à l'occasion de nos recherches sur la position du point d'application de la

résistance de l'air, la résultante de cette résistance rencontre l'axe du plus grand nombre des projectiles oblongs en usage, en avant du centre de gravité, du moins lorsque l'angle sous lequel l'intersection de ces deux lignes a lieu est petit; en d'autres mots, le point d'application de la résistance de l'air se trouve en avant du centre de gravité, lorsque la direction de la résistance ne fait qu'un très-petit angle avec l'axe du projectile.

Malgré cela, et sans nous arrêter davantage à discuter sur la position de ce point, il ne sera pas inutile d'examiner auparavant le troisième cas que nous avons admis, celui où la rencontre de la résultante de la résistance de l'air avec l'axe du projectile aurait constamment lieu en arrière du centre de gravité, pour comparer les résultats auxquels nous arriverons avec ceux de l'examen du premier cas.

Représentons-nous donc de nouveau le projectile à mouvement rotatoire *dextrorsum*, arrivé en un point S de la trajectoire A S B (fig. 14) (18), plus ou moins éloigné de la bouche de l'arme, nous trouverons que la résultante U W de la résistance

(18) Voir la note 18 à la fin du mémoire.

parallèle à la tangente T'S, qui coupe l'axe *ab* en un point W situé en arrière du centre de gravité tend à abaisser l'extrémité antérieure du projectile, parce que dans tout projectile libre, le centre de gravité S est le centre, et la perpendiculaire SP abaissée du point S sur la direction de la résultante UW, le bras de levier de la rotation qui relève la base et abaisse la pointe.

Par suite de la tendance continuelle de la pointe du projectile à s'abaisser, l'axe primitif de rotation change de position comme dans le premier cas; seulement, ici le changement a lieu de telle sorte qu'à partir du centre de gravité le côté antérieur de l'axe primitif de rotation est poussé vers la gauche du plan parallèle, ainsi qu'on peut aisément le reconnaître en effectuant la construction du parallélogramme de rotation. Il suit de là que, comme dans le premier cas, l'axe longitudinal du projectile exécutera des oscillations coniques autour du nouvel axe de rotation, en décrivant deux cônes opposés par le sommet, mais qu'ici l'oscillation de la pointe du projectile se fera toujours du côté gauche du plan parallèle, et que, par suite, la dérivation aura constamment lieu vers la gauche, parce que la résistance de l'air qui agira obliquement sur

la moitié droite de la surface du projectile, en poussera continuellement le centre de gravité vers la gauche.

Comme dans le premier cas aussi, le projectile tendra, en vertu de la dernière résistance de l'air dont on vient de parler, à tourner autour de son centre de gravité la pointe vers la droite, ensorte que, ici encore, précisément comme dans le premier cas, l'axe de rotation doit s'incliner sur l'horizon, ce que l'on peut de nouveau aisément vérifier par la construction du parallélogramme de rotation.

En outre, par suite tout à la fois de la rotation *dextrorsum*, d'abord concentrique, puis bientôt après excentrique, et de la composante perpendiculaire à l'axe de la résistance tangentielle de l'air, il se produira sur la moitié droite supérieure de la surface du projectile, une pression dont la résultante passera par le point d'application de la résistance, et par conséquent coupera l'axe du projectile en arrière de son centre de gravité, et, parce que cette presion latérale agit sur le quart supérieur de droite du projectile de haut en bas et vers la gauche, elle le forcera à dévier par en bas et vers la gauche, et déterminera la pointe à tourner vers le haut et vers la droite, en diminuant ainsi quelque

peu la déviation de l'axe de rotation vers la gauche, mais l'obligeant, par contre, à s'incliner un peu plus qu'il a été dit précédemment vers l'horizon, ou, relativement parlant, vers la tangente à la trajectoire.

On voit donc qu'ici, les résistances qui engendrent la dérivation du projectile du côté gauche, et l'inclinaison de son axe de rotation par en bas, s'ajoutent ensemble. Toutefois, le déplacement de l'axe de rotation vers la gauche, et par suite, la grandeur de l'écart de la pointe de ce côté, pendant l'oscillation conique, sera moindre que dans le premier cas, tandis que, au contraire, l'inclinaison de l'axe de rotation sur l'horizon, ou sur la tangente à la trajectoire sera plus considérable.

Il peut donc très-bien arriver ici cette circonstance que pendant le balancement de l'axe, l'effet de la résistance de l'air, au lieu d'être d'abaisser la pointe du projectile, soit de la relever; car s'il arrivait que l'axe de rotation R'S (fig. 15) s'abaissât au-dessous de la tangente TS à la trajectoire A S B, la partie *b* S T de l'écart angulaire située au-dessus de la tangente serait moindre que la partie *b'* S T de cet écart qui est en dessous, de sorte que la résistance de l'air sur la demi-surface du projectile serait plus faible lorsque l'oscillation de la pointe

se ferait en dessus que lorsqu'elle se ferait en dessous. De plus, la résultante de la résistance de l'air, représentée dans les deux positions considérées, par UW et U'W', en prenant toujours son point d'application W ou W' sur l'axe ab ou $a'b'$ à la même distance du centre de gravité S, serait à une moindre distance Sp de l'axe ab correspondant à l'oscillation ascendante que sa distance Sp' à l'axe $a'b'$, correspondante à l'oscillation descendante; par conséquent la pointe du projectile doit être plus relevée pendant l'oscillation descendante, qu'elle ne serait abaissée pendant l'oscillation ascendante. Le résultat, en tant que l'axe d'oscillation R'S serait abaissé au-dessous de la tangente ST, est donc un relèvement de la pointe du projectile, et par suite (à cause de la composition des deux mouvements rotatoires par le parallélogramme de rotation), un changement de position de l'axe de rotation vers la droite ayant pour effet ou de diminuer la dérivation du projectile à gauche, ou de l'annuler, ou même de la transformer en une déviation vers la droite selon l'intensité et la durée de l'action relevante.

Eu égard à la dernière circonstance dont nous venons de parler, il sera aussi, généralement par-

tant, difficile de déterminer et d'affirmer qu'un projectile à rotation *dextrorsum*, avec lequel le point d'application de la résistance de l'air serait constamment en arrière du centre de gravité, éprouvera pendant toute la durée de sa trajectoire une déviation à gauche.

Que si nous examinons maintenant le cas d'un projectile à rotation *dextrorsum*, de la forme ordinaire, mais construit de manière que la résultante de la résistance de l'air coupe successivement l'axe, d'abord en avant du centre de gravité, plus tard, en ce centre même, et, finalement, en arrière de ce point, nous reconnaîtrons que pendant les premiers instants pour le moins de son mouvement, son axe de rotation éprouvera, conformément à ce qui a été dit pour le premier cas, un changement de position vers la droite et vers le bas, par suite duquel le projectile sera porté sur la droite du plan parallèle. La résultante de la résistance de l'air se rapprochant ensuite du centre de gravité, et l'atteignant, fera que l'axe de rotation conservera quelque temps la position qu'il avait prise vers la droite. Pendant la continuation ultérieure du mouvement du projectile, la résultante finira par en couper l'axe en arrière du centre de gravité et consécutivement,

l'axe de rotation s'inclinera encore davantage et changera sa position de telle sorte que quittant celle qu'il avait vers la droite, il se tournera de plus en plus vers le plan parallèle, relativement vers la gauche.

Enfin, l'axe de rotation qui s'abaisse continuellement pendant toute la durée du trajet finira par atteindre jusqu'au-dessous de la tangente à la trajectoire. Or, dans ce cas, ainsi qu'on vient à l'instant de l'expliquer, la pointe du projectile tendra de nouveau à se relever et par suite à déterminer un changement de position de l'axe de rotation vers la droite (19). Ainsi donc, au commencement et vers la fin de la trajectoire le projectile déviera à droite; au milieu de sa course, au contraire, la déviation initiale à droite ira en diminuant, ou cessera tout à fait, etc., comme il est aisé de le reconnaître à l'aide des moyens d'observation déjà employés. On pourrait, dans ce cas, représenter la position de l'axe de rotation et la déviation du projectile à droite, comme le montre la figure 16. Dans cette figure, AB est, vu d'en haut, le plan vertical de tir, ou du prolongement

(1) Voir la note 19 à la fin du mémoire.

de l'axe de la pièce ; A le point de départ et C le point final de la trajectoire projetée horizontalement ; *ab*, *ab*, *ab*... sont les positions successives de l'axe de rotation ; et *ac*, *ac*, *ac*... les écarts successifs du projectile en dehors du plan de tir, aux différents points de la trajectoire. Et, en réalité, il a été reconnu que les projectiles oblongs décrivent une trajectoire dont la projection horizontale peut être représentée par la figure 16.

§ 13.

4°, 5° ET 6° CAS : ROTATION SINISTRORSUM ; LA RÉSULTANTE DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR COUPE L'AXE LONGITUDINAL DU PROJECTILE SOIT EN AVANT DU CENTRE DE GRAVITÉ, SOIT AU CENTRE DE GRAVITÉ MÊME, SOIT EN ARRIÈRE DU CENTRE DE GRAVITÉ.

Lorsqu'on analyse chacun des trois cas ici réunis de la rotation *sinistrorsum* des projectiles de la même manière qu'on l'a fait plus haut pour chacun des trois cas analogues de la rotation *dextrorsum*, on trouve que toutes les déviations des projectiles, tous les changements de position des axes de rotation se font maintenant en sens contraire de ce qui avait lieu alors, c'est-à-dire à gauche lorsqu'ils se faisaient à droite, à droite lors-

qu'ils se faisaient à gauche ; et qu'il en est de même à l'égard des changements de position vers le bas ou vers le haut.

Dans le quatrième cas, celui où la résultante de la résistance de l'air coupe l'axe du projectile en avant du centre de gravité, la pointe tend, comme dans le 1er cas, à se relever par l'effet de la rotation que la résistance de l'air lui imprime; mais ici, l'action combinée de cette rotation et de la rotation *sinistrorsum* communiquée au projectile dans l'âme de la pièce donne lieu à une rotation résultante autour d'un axe dont la position est telle que, à partir du centre de gravité, cet axe sortant du plan parallèle se dirige vers la gauche, au lieu de se diriger vers la droite comme dans le 1er cas. Le projectile doit donc ici comme alors exécuter, avec son axe longitudinal, des oscillations coniques, mais avec cette différence qu'au lieu d'avoir lieu du côté droit du plan parallèle, elles se feront du côté gauche. Dans cette nouvelle espèce de *nutation*, le mouvement oscillatoire partira donc toujours du plan parallèle pour se diriger vers la gauche; et par suite, la pression exercée par la résistance tangentielle de l'air, et la dérivation du projectile qui en résulte se feront aussi du côté gauche. Mais la

résistance de l'air occasionnera en même temps un transport de la pointe du projectile vers la gauche; et si l'on combine de rechef ce nouveau mouvement rotatoire avec la rotation préexistante on arrive encore à reconnaître, comme dans le 1er cas, que l'axe de rotation en a éprouvé un nouvel abaissement. Que si l'on combine, en outre, la composante perpendiculaire à l'axe du projectile de la résistance tangentielle de l'air, avec la rotation *sinistrorsum* de ce projectile, on verra qu'il en résulte une pression latérale poussant le projectile vers la droite de bas en haut, et tendant à en tourner la pointe à droite et vers le haut. Par suite de cet effet, la dérivation du projectile vers la gauche sera, sans doute, diminuée, mais elle sera ultérieurement augmentée par l'effet du changement de position de l'axe de rotation vers la gauche résultant de la rotation engendrée par la pression latérale. Ajoutons qu'ici encore, comme dans le 1er cas, tous les points du projectile décriront des spirales héliçoïdes qui, en général, auront leurs pas d'autant plus courts et leurs diamètres d'autant plus grands que le projectile approchera davantage de la fin de sa course. En un mot, tous les résultats obtenus pour le 1er cas, récapitulés

dans le § 10, auront lieu ici sous la réserve de ce qui a été dit au commencement du présent paragraphe.

Le 5e cas, celui où la résultante de la résistance de l'air passe par le centre de gravité du projectile, conduit exactement, et d'une manière tout à fait analogue, à la série entière des recherches faites plus haut pour le 2e cas; et l'on peut lui appliquer toutes les conséquences tirées alors pour celui-ci, avec cette différence toutefois, qu'ici où la rotation du projectile est *sinistrorsum*, la dérivation se fera toujours en sens exactement contraire de celui de la dérivation du 2e cas, c'est-à-dire du côté droit.

Le 6e cas enfin, dans lequel la résultante de la résistance de l'air coupe l'axe du projectile à rotatation *sinistrorsum* en arrière du centre de gravité, est l'analogue du 3e cas de la rotation *dextrorsum*. Ici, en effet, le changement de position qu'éprouvera l'axe primitif de rotation, sous la double influence de la résistance de l'air et de la rotation *sinistrorsum*, aura lieu de manière à le faire sortir du plan parallèle à partir du centre de gravité, en tournant sa pointe à droite, mais au-dessous de la tangente à la trajectoire. En outre, ici encore, la pression latérale produite par la rotation du pro-

jectile modifiera ce changement de position de l'axe de rotation en en diminuant l'obliquité vers la droite et en en augmentant l'inclinaison sur l'horizon.

Par suite des oscillations du projectile sur le côté droit résultant du balancement conique de son axe, le projectile éprouve une dérivation vers la droite. Et ici, précisément de la même manière qu'on l'a expliqué pour le 3e cas, il résulte encore de l'inclinaison de l'axe de rotation en-dessous de la tangente à la trajectoire, une tendance de la pointe du projectile à tourner vers le haut ou à se relever entraînant à sa suite un changement de position de l'axe de rotation vers la gauche; en sorte que, ici encore, il serait impossible de dire d'une manière absolue si le projectile déviera peu ou point vers la droite ou même un peu à gauche du plan vertical de l'axe de la pièce. Ici encore, les considérations employées pour le troisième cas d'un projectile à rotation *dextrorsum* pourront s'appliquer à nos projectiles à rotation *sinistrorsum*, lorsque la résistance de l'air coupera l'axe longitudinal d'abord en avant du centre de gravité, puis en ce centre même, et vers la fin du mouvement en arrière. Enfin, ici encore, l'axe de rotation vu d'en haut ou dans le plan horizontal se

présentera comme dans la figure 16, mais dans une position renversée, et la déviation du projectile aura lieu à gauche.

§ 14.

RELÈVEMENT DES PROJECTILES OBLONGS TOURNANT AUTOUR DE LEUR AXE.

Tous les projectiles oblongs dont l'axe de rotation se relève *en avant* au-dessus de la tangente à la trajectoire éprouvent, pendant que cet effet subsiste, un soulèvement dû à ce qu'une partie de la résistance *tangentielle* de l'air agissant alors sur eux en sens contraire de l'action de la pesanteur, ralentit leur chute, et par suite rend la trajectoire plus rasante, et la portée plus étendue qu'elles ne l'auraient été sans ce soulèvement (20). En effet, l'amplitude de la partie supérieure de l'oscillation conique du projectile *ab*, *a'b'* (fig. 17) autour de l'axe RS, comptée à partir de la tangente ST à la trajectoire ASB, est plus grande du double de l'angle RST que celle de la partie inférieure à cette tangente. Or, comme la résistance de l'air s'exerce

(20) Voir la note 20 à la fin du mémoire.

parallèlement à la direction de cette tangente, et que le ralentissement qu'elle occasionne dans le mouvement de translation du projectile se fait exactement comme si l'action de l'air s'exerçait immédiatement tout entière contre le centre de gravité, il s'ensuit que cette action est aussi représentée par la longueur SW de cette résultante portée sur la direction de la tangente TSW. Cela posé, si en chacun des deux instants où le projectile atteint, dans son oscillation, ses deux positions extrêmes dans le plan vertical : *ab* en dessus, et *a' b'* en dessous, on décompose cette résultante suivant deux directions rectangulaires entre elles, l'une perpendiculaire, l'autre parallèle à l'axe, les deux composantes SV et SV' (*) donneront respectivement les parts de la résistance de l'air exercées suivant les axes *a b*, *a' b'*; tandis que les composantes S U, S U', donneront les parts agissant perpendiculairement à ces axes, en vertu desquelles

(*) Il est à remarquer que les deux composantes suivant la direction de l'axe, c'est-à-dire SV ou SV', ne représenteront, dans aucun cas, la grandeur proportionnelle de la résistance de l'air éprouvée par le projectile sur sa section transversale, par la raison que l'air n'agissant pas perpendiculairement à cette section, y éprouve une décomposition par suite de laquelle une partie s'en écoule sans y exercer de pression.

(*Note de l'auteur.*)



le projectile est ou relevé dans sa position *a b*, ou abaissé dans sa position *a' b'*. Soit donc PSQ la verticale passant par le centre de gravité, ou la ligne suivant laquelle la pesanteur agit de haut en bas ; en projetant sur cette ligne les composantes perpendiculaires à l'axe, dans les deux positions considérées, des résistances respectives SU, SU' de la résistance générale, les deux projections PS, QS représenteront en grandeur les forces qui agissent dans les deux cas, la première pour relever, la deuxième pour abaisser le centre de gravité. Ces deux forces étant dirigées en sens contraire l'une de l'autre, leur différence PS-QS donnera la mesure de la force qui tend à relever le centre de gravité. On arrive plus facilement à se convaincre de l'action relévatrice de la résistance SV de l'air, en la décomposant perpendiculairement à l'axe de rotation RS. La composante P'S est alors la force relévatrice agissant sur l'axe du projectile pendant une oscillation, et la projection P"S sur la verticale PSQ est la part de la résistance de l'air qui agit directement en sens contraire de la pesanteur, ou qui ralentit l'abaissement du projectile (*).

(*) On pourrait, d'une manière semblable, démontrer, dans

Pour compléter l'explication ci-dessus du soulèvement produit par la résistance de l'air sur les projectiles qui, dans leur trajet, décrivent des oscillations coniques, il nous reste à faire remarquer que l'effet relévateur dont il s'agit, est encore augmenté par la part de la pression latérale qui s'exerce dans le plan parallèle.

§ 15.

CONCLUSIONS TIRÉES DE L'ENSEMBLE DES RECHERCHES PRÉCÉDENTES; ET APPLICATION DE LA PREMIÈRE A LA CONSTRUCTION DES PROJECTILES.

De l'ensemble des recherches auxquelles nous nous sommes livré jusqu'ici, on peut tirer les conclusions suivantes :

1° Les projectiles oblongs, tels qu'il est d'usage de les construire aujourd'hui, dévient toujours vers la droite du plan vertical de tir, lorsque leur rotation est *dextrorsum*; et ils dévieraient vers la gauche de ce plan, si leur rotation était *sinistror-*

le § 9, la déviation du projectile, et déterminer la part de la résistance de l'air qui l'occasionne. (*Note de l'auteur.*)

sum ; mais pour cela, il faut que la résultante de la résistance coupe leur axe longitudinal :

(*a*) ou toujours en avant du centre de gravité ;

(*b*) ou successivement, pendant la durée du mouvement, d'abord en avant du centre de gravité, puis par ce point ;

(*c*) ou enfin dans certains cas particuliers successivement : en avant du centre de gravité, par ce point, et en arrière de ce point.

2° Au contraire, lorsque la résultante de la résistance de l'air passe par le centre de gravité pendant toute la durée du mouvement, les projectiles, qu'ils soient oblongs ou sphériques, doivent toujours dévier à gauche du plan vertical de tir lorsque leur rotation est *dextrorsum*, et à droite de ce plan lorsqu'elle est *sinistrorsum*.

3° Que si, pendant tout le trajet d'un projectile oblong, la résultante de la résistance de l'air coupe continuellement l'axe longitudinal en arrière du centre de gravité sans que cependant l'axe de rotation s'abaisse jamais en avant jusqu'au-dessous de la tangente à la trajectoire (21), le projectile éprouvera le plus souvent une dérivation à gauche du

(21) Voir la note 21 à la fin du mémoire.

plan vertical de tir si la rotation est *dextrorsum*, et il en éprouvera une à droite si sa rotation est *sinistrorsum*.

4° Dans le tir de projectiles oblongs d'une construction telle que la résultante de la résistance de l'air ne passe pas constamment par le centre de gravité, pendant tout le trajet, ces projectiles doivent nécessairement, à raison, tout à la fois, de la rotation que les rayures de la pièce leur ont imprimée et de celle qu'ils tendent à prendre par l'effet de la résistance de l'air, éprouver un balancement conique de leur axe longitudinal autour d'un certain axe de rotation, balancement en vertu duquel l'axe primitif de rotation décrit deux cônes opposés par le sommet, lequel sommet commun répond au centre de gravité.

5° Selon que, pendant le balancement conique du projectile, la pointe de celui-ci marchera du côté droit ou du côté gauche du plan parallèle; ou bien, selon que l'axe de la rotation résultante du projectile se dirige, à partir du centre de gravité, vers la droite ou vers la gauche du côté de la pointe, la dérivation engendrée par la résistance de l'air aura lieu vers la droite ou vers la gauche.

6° Avec tous les projectiles oblongs sujets aux

oscillations coniques pendant leur trajet, ces oscillations sont presque insensibles au commencement de la trajectoire, et augmentent de plus en plus vers la fin.

7° La trajectoire de toute espèce de projectile oblong tournant autour de son axe longitudinal, est une courbe à double courbure; et lorsque le projectile est de ceux qui sont sujets aux oscillations coniques, cette courbe est de plus spiraliforme depuis le commencement jusqu'à la fin.

8° Tous les projectiles allongés dont l'axe de rotation se relève *en avant* (22) au-dessus de la tangente à la trajectoire, sont soulevés, et en partie supportés par l'effet de la résistance de l'air.

9° En général, un projectile dévie du même côté du plan de la trajectoire normale, vers lequel se dirige, à partir du centre de gravité, la partie antérieure de l'axe ou sa pointe en cessant d'être dirigée suivant la tangente à la trajectoire; autrement dit, il dévie de telle sorte que, selon que la partie antérieure de l'axe de rotation se dirige en avant du côté droit, ou du côté gauche du plan vertical mené par la tangente, la dérivation a lieu

(22) Voir la note 22 à la fin du mémoire.

pareillement du côté droit ou du côté gauche de ce plan ; et que la trajectoire sera en même temps ou moins courbe et plus allongée, ou plus courbe et moins étendue, selon que la partie antérieure de l'axe de rotation sera inclinée au-dessus ou au-dessous de la tangente à la trajectoire, etc.

10° Les projectiles pour lesquels le point d'application de la résistance de l'air est situé en avant du centre de gravité, ont des dérivations d'autant moins considérables que la résultante de cette résistance rencontre l'axe en avant du centre de gravité plus près de ce point, ainsi que cela a été expliqué avec détails au § II. Comme avec de tels projectiles l'axe de rotation est, sur toute ou sur presque toute la longueur du trajet, au-dessus de la tangente à la trajectoire, ils éprouvent un soulèvement pendant presque toute la durée de leur trajet, et fournissent par suite de grandes portées ; en outre comme avec ces mêmes projectiles, les amplitudes des oscillations coniques qu'ils éprouvent sont relativement peu considérables, il arrive que leur mouvement est moins agité, plus régulier, plus juste qu'il ne l'est avec des projectiles d'une construction différente.

De là cette règle importante à observer dans la

construction des projectiles, à savoir : *de faire répondre le point d'application de la résistance de l'air très-près et en avant du centre de gravité* (23).

La construction d'un projectile allongé la plus défavorable de toutes serait celle par suite de laquelle le point d'application de la résistance de l'air (23) répondrait en arrière du centre de gravité ; et de telle sorte que la résultante de cette résistance coupât l'axe très-près de son extrémité postérieure.

11° Si la résultante de la résistance de l'air et de la pression latérale engendrée par la rotation du projectile passait constamment par le centre de gravité, il n'y aurait lieu à aucun balancement conique de l'axe, et le projectile poussé par la pression latérale de l'air engendrée par la rotation, dévierait continuellement du côté du plan vertical de tir opposé au sens de cette rotation. Comme, dans une telle circonstance l'axe longitudinal reste toujours parallèle à sa direction primitive (24), l'angle formé par l'axe avec la tangente à la trajectoire augmenterait jusqu'à la fin du mouvement; et il en résulterait, eu égard à la conclusion n° 9,

(23) Voir à la fin du mémoire l'avant-dernier alinéa de la note 3.

(24) Voir la note 24 à la fin du mémoire.

qu'un projectile ainsi construit serait soutenu ou porté par la résistance de l'air et atteindrait une grande portée.

12° De ce qui précède il ressort évidemment que les projectiles tirés avec une rotation autour de leur axe longitudinal, quelle que soit d'ailleurs leur forme, pourvu qu'ils tournent, seront construits d'une manière avantageuse lorsqu'ils satisferont à la condition que le point d'application de la résistance de l'air y soit toujours placé de manière que la résultante de cette résistance coupe l'axe du projectile très-près du centre de gravité ; et à plus forte raison, plutôt en avant qu'en arrière.

§ 16.

POINT AUQUEL DOIT RÉPONDRE, SUR LES PROJECTILES OBLONGS EXPLOSIFS OU INCENDIAIRES, L'EMPLACEMENT DE LA FUSÉE PERCUTANTE.

Comme, le plus souvent, les projectiles allongés creux sont destinés à éclater en frappant le but, au moyen d'une étoupille qui prend feu par le choc, il se présente ici la question de savoir où il convient d'adapter l'amorce percutante pour en bien assurer l'effet.

Un projectile muni à sa pointe d'une capsule de cuivre garnie de matière inflammable par la percussion, ne réussit pas toujours à détoner, par la raison, surtout, que le projectile ne frappe pas toujours le but par la pointe, ainsi qu'on le conçoit aisément après les discussions auxquelles nous nous sommes livré au sujet de la position tant de l'axe du projectile que de son axe de rotation.

On peut en dire autant de toute amorce percutante placée dans l'intérieur du projectile suivant l'axe et près de la pointe (fig. 18); et qui se compose généralement d'un percuteur *s*, d'une certaine quantité de matière inflammable *m*, et d'une aiguille rugueuse *z* ou autre moyen analogue. Ce système aussi manque souvent son effet; car dans les épreuves qu'on en a faites, il a été reconnu que pendant le trajet même du projectile, le percuteur est à sujet s'avancer vers la pointe de celui-ci, ou à se rapprocher de la vis de fermeture *b*, ce qui fait que l'aiguille pénètre peu à peu et très-lentement dans la matière inflammable *m*, et qu'au moment du choc du projectile, le percuteur et l'aiguille se trouvent si rapprochés l'un de l'autre que la percussion est insuffisante à produire la détonation. On a essayé de prévenir cet inconvénient en rete-

nant le percuteur en sa place dans l'intérieur du projectile pendant le mouvement de celui-ci, au moyen de fils métalliques fins, ou de quelque autre manière; mais alors on a reconnu, d'un côté, que lorsque les fils étaient trop faibles, l'inconvénient signalé continuait d'avoir lieu, et que, dans le cas contraire, les fils n'étaient pas toujours rompus par le choc, et qu'alors le percuteur et sa composition inflammable n'étaient pas lancés contre l'aiguille.

Deux causes différentes peuvent empêcher le percuteur de rester dans sa position primitive pendant le trajet du projectile.

1° Pendant que le projectile est ralenti dans son mouvement par la résistance que l'air lui oppose sans cesse, le percuteur dont la vitesse initiale n'est en rien diminuée par cette circonstance, et qui n'entre en contact dans l'intérieur du projectile qu'avec des surfaces peu capables d'en retarder le mouvement, est emporté vers la pointe avec une vitesse mesurée par la différence de ces deux résistances. Toutefois, il convient de considérer aussi qu'un percuteur cylindrique, à cause du jeu qu'il trouve autour de lui dans le projectile, doit tourner dans un sens contraire à celui de ce dernier; et que par suite du frottement et du mouvement qui en

résultent sur lui, une part relativement considérable de la force impulsive qui lui a été communiquée doit lui être soustraite; de tout quoi, il paraît peu probable que la résistance de l'air sur le projectile puisse être regardée comme la cause réelle du phénomène.

2° Les oscillations coniques du projectile autour de son centre de gravité donnent naissance à une force centrifuge qui tend naturellement à projeter vers la pointe tout corps mobile placé dans l'axe du projectile à une certaine distance en avant du centre de gravité.

Si donc on veut éviter que le percuteur puisse glisser vers la pointe pendant les deux mouvements progressif et nutatoire, il semble qu'il doive suffire de l'établir au centre de gravité même du projectile où la force centrifuge, cause de ce glissement, n'existe pas. Si cette simple précaution ne suffisait pas, on pourrait placer le percuteur en un point situé très-peu au-delà du centre de gravité, où il aurait plutôt une prédisposition à être poussé du côté de la base. Enfin on pourrait encore adapter le percuteur fixément contre la paroi intérieure du projectile du côté de la base, point d'où la force centrifuge ne pourrait le détacher, et d'où il ne

pourrait, par conséquent, être poussé par le choc du projectile du côté de la pointe qu'à l'instant même où le choc aurait lieu.

(La suite au prochain numéro).

NOUVEAU PROCÉDÉ

POUR LA

compression des compositions et pour le chargement

DES CARTOUCHES D'ARTIFICES DE GUERRE,

Par le major d'artillerie **SPLINGARD.**

Dans la confection des artifices, il a été admis en principe, pendant longtemps, d'employer pour les compositions fusantes qu'on charge dans des cartouches, un mélange à l'état pulvérulent des matières constituantes, et de comprimer directement les compositions dans les cartouches, par couches successives, au moyen du maillet, du mouton ou de la presse.

Depuis un certain nombre d'années, on déroge quelquefois à ce principe en ce qui concerne l'état des compositions; elles sont souvent employées en grains; on emploie même la poudre de guerre pour les artifices dont la destination exige une combustion régulière et énergique.

Nous allons examiner quels sont les avantages et les inconvénients que présentent ces deux états de la matière avant la compression, et quels sont les motifs qui peuvent déterminer la préférence en faveur de l'un d'eux pour la confection d'un arti-

fice ou d'un objet de munition de guerre.

Disons d'abord qu'il est important qu'une composition pyrotechnique destinée à brûler par couches successives soit tassée le plus fortement possible, c'est-à-dire qu'elle soit tassée au maximum de densité. C'est ainsi qu'on assure le mieux la conservation de l'artifice, sa régularité de combustion, et la production de la plus grande somme de gaz, eu égard au volume de la matière.

Bien que la composition se combine avec d'autant plus d'énergie et de rapidité qu'elle est moins comprimée, on peut toujours combiner le dosage de la matière avec son tassement, de manière à procurer, en général, à l'artifice, une énergie de combustion suffisante.

Mais il est rarement possible de donner à la composition cette densité maximum, parce que le cartouche dans lequel le tassement s'opère a presque toujours une résistance insuffisante pour supporter l'effort latéral qui résulterait de la pression nécessaire.

C'est donc généralement la résistance de l'enveloppe (cartouche) de la matière fusante qui limite la compression qu'on peut donner, et réciproquement, on détermine la nature et la résistance du car-

touche, dans les bornes du possible, d'après le degré de compression que la composition doit recevoir.

Remarquons que dans la construction d'un objet d'artifice, on n'est pas toujours libre de choisir la nature du cartouche, celui-ci devant satisfaire à des conditions imposées par les exigences du service, et ajoutons qu'il est de la plus grande importance de constituer le cartouche de telle sorte qu'il soit aussi peu que possible sujet à s'altérer, surtout pendant la combustion de l'artifice.

Les considérations qui précèdent ont fait admettre, pour plusieurs artifices de petites dimension, l'usage des cartouches en papier, en bois, et comme ils offrent peu de résistance, on y exécute le tassement de la composition, en couches successives, par le battage au maillet.

Les procédés de battage ou de compression plus énergiques du mouton et de la presse ne sont employés que dans les cartouches métalliques de dimensions plus ou moins grandes. Néanmoins quand la compression dépasse certaine limite, ces cartouches doivent être soutenus dans des moules, et malgré la protection donnée par ceux-ci aux cartouches en fer, on constate encore, à la suite d'une forte compression, que ces enveloppes métalliques

ont subi un allongement en même temps qu'une augmentation de diamètre; cette altération de leurs formes primitives ne peut évidemment se produire sans qu'il y ait aussi altération de leur résistance et le succès de l'artifice peut être compromis.

A compression égale, la densité de la matière, après le tassement, varie suivant l'état dans lequel on l'avait d'abord préparée. Ainsi, à égale compression, la poudre en grains ou la composition grenée acquiert une plus forte densité que la même matière employée à l'état pulvérulent.

Mais pour obtenir avec la poudre grenée une combustion fusante régulière, sans avoir à craindre des déflagrations instantanées, partielles ou totales de la colonne de composition, il importe que la compression ait été poussée assez loin pour faire disparaître complètement la forme des grains, et les espaces vides qui existaient entre ceux-ci; tandis que l'emploi de la composition à l'état pulvérulent permet d'obtenir, avec tout degré de compression, à partir d'une certaine limite, une combustion fusante sans déflagrations instantanées; ici la compression minimum est celle qui donne assez de liant à la masse pour la maintenir agglomérée.

On se rendra facilement compte de ces faits en

considérant la différence de densité des compositions en grain et en pulvérin. Une composition grenée réduite en pulvérin perd environ les 4/10 de sa densité malgré les espaces vides très-grands que les grains laissent entre eux.

On comprend d'après cela qu'il soit nécessaire de comprimer la poudre grenée plus fortement que le pulvérin, afin d'obtenir une combustion fusante d'une régularité certaine.

La densité absolue d'une composition du dosage de la poudre de guerre est très-approximativement de 2,00 ; cette même composition grenée à la manière ordinaire ou à l'état pulvérulent prend les densités gravimétriques respectives de 0,90 et 0,56 environ. Il en résulte que pour obtenir avec une telle composition une densité approchant du maximum, il faut dans le cas de la poudre grenée, réduire d'environ de moitié le volume primitif, tandis que dans le cas du pulvérin, cette réduction doit approcher des trois quarts.

La pratique constate en effet qu'il faut une moindre compression pour atteindre une densité maximum avec la poudre grenée qu'avec le pulvérin, ce qui s'explique de la manière suivante : les grains proviennent de galettes d'une densité qui

approche du maximum ; ils sont comprimés ensuite dans un espace clos et se subdivisent en fragments qui conservent la densité primitive et viennent occuper les espaces vides que les grains laissaient entre eux. Le pulvérin au contraire ne peut obtenir cette densité maximum qu'à l'aide d'une compression capable de donner à chaque élément de la masse, la densité du grain. On comprend que pour ce dernier cas la compression doit être plus forte que pour le premier. Les artifices qui exigent des compositions fusantes de combustion énergique et régulière se confectionnent maintenant avec de la poudre de guerre comprimée dans le cartouche au plus haut degré possible, à l'aide de presses puissantes. Les fusées de guerre chez quelques puissances qui en font usage sont dans ce cas.

La compression de la composition dans un cartouche a lieu, nous l'avons déjà dit, par couches successives. La densité de la matière est d'autant plus régulière que la hauteur des couches comprimées successivement est moindre; dans chaque couche la partie la plus rapprochée de la baguette de chargement est plus comprimée que la partie opposée, et dans un cartouche chargé les couches inférieures ont peu gagné en densité par suite des

compressions exercées sur les couches supérieures.

Pour obtenir par l'application de ce procédé de fortes densités, il faut non-seulement des cartouches très-résistants, mais encore ces cartouches doivent être protégés, comme nous l'avons déjà dit, par des moules solides, dans lesquels on les maintient. Néanmoins le cartouche est altéré dans sa résistance pendant son chargement, et si on ajoute à l'altération qu'il subit alors, celle au moins aussi grande qui se produit pendant la combustion, par suite d'un échauffement rapide, on ne doit pas être surpris de voir parfois des cartouches de fusées de guerre crever pendant le tir.

Les compositions employées au chargement des cartouches d'artifices quelconques doivent être convenablement séchées ; il ne faut pas que l'humidité emprisonnée dans la masse, tendant à s'échapper lors d'une élévation de température, altère la constitution physique de la colonne fusante. Une composition employée à l'état humide est, à la vérité, plus facile à comprimer, mais l'eau qu'elle contient est destructive du cartouche, surtout quand celui-ci est en fer, car personne n'ignore combien tous les métaux, et particulièrement les métaux mis en contact avec les composi-

tions d'artifices, véritables réservoirs d'oxygène, sont rapidement altérés sous l'influence de la chaleur et de l'humidité.

Sans les inconvénients que nous venons de signaler, il serait extrêmement avantageux de faire usage de compositions humides; le travail serait exécuté avec toute sécurité, sans chance d'inflammation, en même temps qu'une moindre compression suffirait pour atteindre la densité maximum.

Toutes les difficultés ci-dessus exposées sont inhérentes aux procédés généralement employés pour ce chargement, et l'on doit reconnaître qu'elles sont inévitables du moment que la compression de la matière est exécutée directement dans le cartouche. Nous allons rechercher maintenant s'il ne serait pas possible d'appliquer un procédé de travail moins défectueux que celui qui a été usité de tous temps et qui est encore le seul qu'on applique aujourd'hui.

Le procédé que nous allons indiquer a été imaginé par nous en 1850, à l'époque où nous exécutions pour essai quelques fusées de guerre à âme annulaire, du calibre de 12 centimètres. Il a reçu plus tard la sanction pratique dans l'exécution des artifices les plus petits et les plus délicats. Avant de

l'exposer, disons qu'il est indépendant des dimensions des cartouches, de leur forme, de leur nature, de l'épaisseur de leurs parois, et qu'il permet toujours le chargement avec la composition au maximum de densité.

Ce procédé est basé sur ce principe : *opérer la compression des compositions en dehors des cartouches, et les y insérer ensuite solidement.*

Voici en quoi consistent les procédés et les moyens d'application :

A. Cartouches de petites dimensions pour fusées de projectiles creux, etc...

Comprimer la composition à l'état humide, en planches, à la presse hydraulique. Diviser ces planches en prismes de dimensions propres à la colonne fusante, et les laisser essorer ensuite convenablement. Recouvrir ces prismes d'un enduit préservateur en les plongeant, par exemple, pendant un instant très-court, dans un bain de stéarine et les insérer ensuite dans les cartouches à l'aide de plâtre gâché clair. La stéarine étant une matière inaltérable par l'eau, mettra la composition à l'abri de l'influence de l'humidité, en même

temps qu'elle empêchera toute transmission intempestive du feu par les surfaces des joints (1). Le plâtre, en se durcissant par sa combinaison avec l'eau, augmente de volume, et emprisonne complètement le prisme dans le cartouche. Dans ces conditions, le plâtre, véritable mortier, est inaltérable ; peu conducteur de la chaleur, il préservera le cartouche pendant la combustion de la matière fusante.

B. Grands cartouches pour fusées de guerre de toutes dimensions, etc. (2).

Comprimer à la presse hydraulique par un procédé spécial, dont nous donnerons ci-après la description, la composition grenée et humide, en disques ou prismes de section un peu moindre que celle du cartouche. Former la colonne de compo-

(1) On peut remplacer le bain de stéarine par un bain de collodion, pourvu qu'on recouvre ensuite la couche de collodion formée sur le prisme par une couche de vernis à la gomme laque.

(2) L'application de ce procédé aux fusées de guerre a déjà été sommairement indiquée dans notre projet de fusée à âme annulaire, publié en 1858, dans le *Journal de l'armée Belge*.

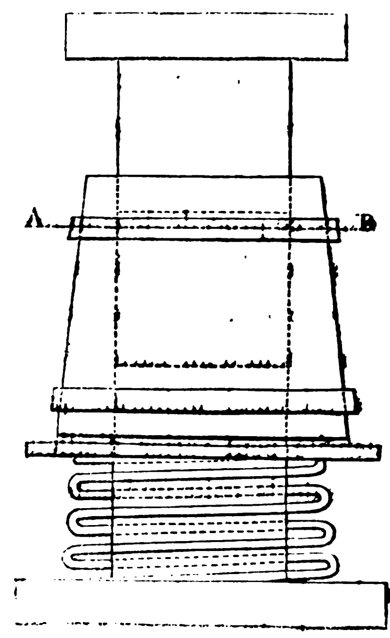
sition du cartouche avec ces disques ou prismes préalablement essorés, en interposant entre les joints une matière propre à empêcher la propagation du feu, par exemple, de la stéarine, ou un mortier combustible, formé de soufre et de gomme laque dissoute dans de l'alcool, etc.

Relier la colonne de composition au cartouche à l'aide de plâtre gâché comme il a été dit ci-dessus pour les petits cartouches.

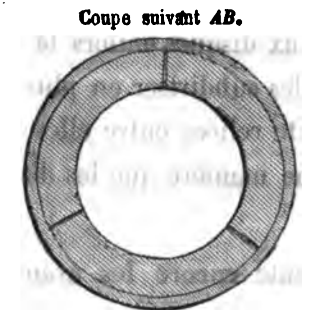
Complétons maintenant l'application générale du principe que nous avons posé, en faisant la description de notre procédé de compression des disques à la presse hydraulique.

Il consiste à opérer simultanément dans un moule deux pressions égales sur la composition qui y est renfermée, entre deux pistons ou baguettes. L'avantage de ce procédé est facile à concevoir; il permet d'obtenir des disques relativement plus épais et de même densité dans les diverses tranches qu'on pourrait considérer à la même distance de chacune des bases, ce que l'on ne saurait obtenir par une seule pression : en effet la composition, en se comprimant, développe contre les parois du moule une poussée et par suite un frottement assez considérable qui empêche la pression motrice

de se transmettre intégralement d'une tranche à la suivante. Le piston inférieur, comme la figure ci-contre le fait voir, est entouré à sa base d'un ressort à boudin pour soutenir le moule suspendu entre les plateaux de la presse. On pourrait aussi faire usage avec succès d'un ressort en caoutchouc vulcanisé qui embrasserait le piston inférieur.



Coupe suivant *AB*.



Le moule est formé de plusieurs pièces à surface extérieure légèrement conique, et assemblées par des bagues ou viroles.

Le nombre des pièces du moule doit varier sui-

vant la forme extérieure que l'on veut donner au disque, afin que le dégagement de celui-ci puisse se faire aisément après la compression : ainsi pour un disque à section circulaire, le nombre des pièces sera de trois, et pour celui à section quadrilatère, il sera de quatre.

On doit reconnaître que ce procédé de compression fait acquérir aux disques de composition une densité plus uniforme que le procédé en usage jusqu'ici, et que le chargement d'un cartouche au moyen de ces disques est aussi uniforme qu'on peut le désirer. La densité peut varier d'ailleurs dans les différents points de la colonne fusante au gré de l'opérateur.

Quand la section des disques est trop grande eu égard à la puissance de la presse, pour que celle-ci puisse donner aux disques entiers la densité maximum, on peut les subdiviser en plusieurs parties qui seront ensuite reliées entre elles dans le cartouche de la même manière que les disques le sont entre eux.

Notre procédé présente encore les avantages suivants :

1° Il prévient la dilatation et la contraction du

cartouche en fer à la suite desquelles la composition est exposée à être fendillée.

2° Il préserve complètement le cartouche de l'oxidation occasionnée par le contact de la composition et jusqu'à un certain point de l'altération qu'il est exposé à subir lors de la combustion de l'artifice.

3° Il permet d'introduire des poids égaux de composition dans les cartouches de mêmes dimensions.

Le mode de chargement que nous venons d'exposer peut être appliqué à des fusées de dimensions colossales; en effet, le chargement s'exécuterait alors par briques de composition ayant la plus haute densité, de la même manière que l'on établit une construction en maçonnerie.

Il n'y aurait certainement pas lieu d'être fort étonné de voir surgir cette application parmi tous les moyens extraordinaires mis aujourd'hui à l'ordre du jour, pour l'attaque et pour la défense.

Assurément une fusée d'un mètre de diamètre, véritable magasin foudroyant, exercerait son action destructive sur une vaste étendue de terrain, ruinant tous les objets avoisinant son point de chute.

SPLINGARD.

Anvers, en novembre 1862.

NOTE

Sur les charges de poudre comprimée pour armes à feu,

Par M. DE LA [illegible], ingénieur civil.

La *Revue militaire* de Turin a publié, en décembre 1862, une excellente notice de M. le capitaine d'artillerie Zanolini, sur l'emploi des charges de poudre comprimée dans les armes à feu. L'auteur y expose avec beaucoup de netteté l'origine et les perfectionnements de cette application nouvelle de la poudre. Mais, bien qu'il recommande aux gouvernements de ne rien négliger pour en tirer tous les avantages que ce mode d'emploi comporte, il nous semble qu'il ne faut pas limiter les recherches de la science à la simple transformation, en charges comprimées, de la poudre de guerre, telle qu'elle est aujourd'hui usitée.

A côté du mélange officiel de salpêtre, de soufre et de charbon, qui constitue la poudre ordinaire, il est d'autres substances, telles que le *pyroxyle* ou *coton-poudre*, qui possèdent d'éminentes qualités balistiques, mais que le défaut d'être trop *brisantes* a fait jusqu'ici exclure de la pratique courante. Ne serait-il pas opportun d'entreprendre des essais sur le coton-poudre comprimé? Et n'est-il pas vraisemblable que la compression de cette substance, comme celle de la poudre ordinaire, aurait pour effet d'en ralentir la combustion dans l'âme de l'arme à feu, et par suite de corriger l'unique, mais capital inconvénient qu'elle présente?

Pour mettre cette idée en lumière, nous allons rendre compte, d'après M. le capitaine Zanolini, des résultats obtenus par la compression des charges de poudre actuelle.

L'invention des charges comprimées nous vient de l'Amérique du Nord. Elle date de l'époque des premiers préparatifs de guerre du gouvernement de Washington contre les États du Sud. La nécessité de fabriquer, dans le plus bref délai possible, les munitions de toute nature qui manquaient à cette nation industrielle, avait conduit à supprimer le grenage et le lissage de la poudre commandée aux

usines. Au sortir des pilons, le mélange pulvérulent était distribué dans des matrices cylindriques, et, sous une pression considérable, on le transformait en disques solides de diamètres, poids et longueurs appropriés aux divers calibres usités dans le pays.

On se figura peut-être, en opérant de cette manière, que l'explosion des gaz, dans l'âme de l'arme à feu, suffirait pour briser et réduire en grains la masse de la charge, dès le premier instant de son inflammation ; de sorte que le grenage de la poudre devînt, pour ainsi dire, automatique. Mais l'expérience démontra que ces charges comprimées brûlaient imparfaitement, et qu'une seule partie de la poudre faisait explosion sans communiquer au projectile la vitesse désirée.

On imagina alors de forer, dans l'axe longitudinal de la charge, un trou cylindrique, complété par plusieurs autres trous transversaux, offrant à l'inflammation une surface beaucoup plus grande et très-favorable à la désagrégation complète de la masse. Cette modification améliora sensiblement les résultats du tir.

Toutefois, les charges comprimées tubulaires ne pouvaient s'appliquer à toute l'artillerie américaine. Elles n'ont produit d'effets suffisants qu'avec

les canons de gros calibre, usités aux États-Unis pour la défense des côtes et des bâtiments. Dans ces pièces, en effet, la grande masse et la force d'inertie considérable du projectile laissent à la poudre un temps relativement plus long pour acquérir toute sa puissance explosive; mais cette méthode serait tout à fait impraticable avec les canons de calibre moyen et avec les armes à feu portatives.

Les discussions soulevées par ces essais de l'artillerie américaine conduisirent bientôt à appliquer la compression à la poudre granulée, en vue d'en composer des charges compactes, résistantes et imperméables. On comprit de suite que de semblables charges seraient probablement de beaucoup supérieures aux cartouches et gargousses de poudre ordinaire. Celle-ci, malgré la densité que lui procurent le grenage et le lissage, ne résiste pas aux nombreuses secousses qu'elle subit, en campagne, soit dans les caissons, soit dans la giberne du soldat; une partie de la charge se transforme en poussier, qui remplit les interstices, retarde l'inflammation et diminue la force balistique de la matière explosive.

D'un autre côté, la poudre ordinaire n'a pas de

plus grand ennemi que l'humidité, et, malheureusement, elle est naturellement très-hygrométrique.

Les secousses du transport et l'humidité mettent hors d'usage, surtout en temps de guerre, des quantités considérables de poudre. Or, les charges comprimées permettaient d'éviter ces deux graves inconvénients.

Le premier objet des recherches qui suivirent les essais ci-dessus fut de déterminer le degré de compression le plus convenable, pour transformer la poudre granulée en charges solides, résistant à tous les chocs du transport en campagne et inaccessibles à l'humidité.

Voici les considérations qui servirent de base à la méthode pratique imaginée en vue de donner aux grains de poudre, malgré leur dureté et le poli de leur surface, une adhérence suffisante pour l'agglomération. Cette méthode est encore due à un Américain.

La poudre de guerre s'enflamme à une température qui varie de 316 à 360°. On peut donc la chauffer sans danger jusqu'à 80 ou 100°.

A cette température, le soufre contenu dans la poudre se ramollit, en approchant de son point de

liquéfaction, à 111°. Ce ramollissement permet aux grains de poudre de se comprimer sans écrasement et de s'agglomérer entre eux fortement. D'un autre côté, à la température ci-dessus, l'évaporation de l'eau hygrométrique est complète, et la poudre en devient moins dense et plus poreuse, et, par la compression, le volume de la charge diminue, en acquérant une *densité gravimétrique* plus grande. En d'autres termes, un litre de charge comprimée augmente de poids spécifique avec la force de compression.

En 1852, M. le comte P. de Saint-Robert, dans son beau travail sur la fabrication de la poudre, avait signalé ces principes et proposé d'*employer simultanément la compression et la chaleur*, pour former le tourteau de poudre sans eau.

« En effet, disait-il, l'eau est le plus grand en-
« nemi de la poudre, et l'on peut dire que la qua-
« lité de celle-ci est en raison inverse de la quantité
« d'eau consommée dans sa fabrication. »

Nous ignorons si l'inventeur américain avait eu connaissance de ces indications techniques ; mais on ne saurait lui contester le mérite d'avoir appliqué la méthode ci-dessus à la poudre en grain, d'avoir pressenti l'utilité et l'importance des charges

comprimées par ce principe, et d'avoir créé les moyens pratiques de leur fabrication.

A défaut de renseignements précis sur l'ensemble de ces moyens, M. Zanolini propose, dans les établissements pyrotechniques, l'emploi de presses hydrauliques semblables à celles dont se servent les artificiers pour la confection des galettes. Dans les places fortes et partout ailleurs, de simples matrices cylindriques, en bronze ou en bois, avec des pressoirs en bronze ou en cuivre, suffiraient probablement.

Quant au réchauffement de la poudre, il faut éviter de porter sa température jusqu'à 111°, point de liquéfaction du soufre, qui décomposerait la poudre. Pour cela, on la chauffe seulement jusqu'à 100°, dans un vase à double enveloppe, entre les parois duquel on met de l'eau bouillante. Cette eau, conservant longtemps sa température d'ébullition, est chauffée dans un lieu éloigné, afin d'écarter toute chance d'accident.

Tels sont probablement, d'après M. Zanolini, les moyens simples et pratiques proposés par l'inventeur américain, pour la fabrication des charges comprimées. Par cette méthode, on obtient une poudre formée de grains agglomérés, présentant

une densité gravimétrique et une dureté pour ainsi dire arbitraires. Les faces de contact des grains se dépriment mutuellement, et ceux-ci prennent une forme lamelleuse qui leur permet de remplir tous les interstices et de s'agglomérer entre eux, sans se détruire ni se confondre dans la masse. La consistance des charges comprimées est telle qu'on peut les jeter contre terre sans les briser. Enfin, dans les armes portatives comme dans les canons, elles prennent feu instantanément par les moyens ordinaires.

L'essai balistique de ces charges, avec le canon-pendule et le fusil-pendule, a montré que la densité gravimétrique de la poudre comprimée exerce une influence très-sensible sur les effets du tir. A chaque grosseur de grain correspond un degré différent de compression pour le maximum d'effet; enfin, à conditions égales avec la poudre ordinaire, les charges comprimées au degré convenable produisent des *vitesses plus grandes et plus uniformes*.

Pour les poudres françaises, le degré de compression, qui correspond au maximum d'effet, réduit de 1/3 le volume primitif de la charge, et la vitesse initiale résultante est accrue d'environ 20 pour cent.

Ces résultats importants conduisirent à pratiquer en grand des expériences de tir continu, afin de constater les portées, la précision et la rapidité du tir, ainsi que les effets de ces charges sur les armes à feu. On reconnut :

1° Que les charges comprimées produisent des portées plus grandes, plus régulières et, par suite, un tir plus précis, ce qui confirmait les indications fournies par le pendule-balistique;

2° Qu'elles encrassent moins les armes que la poudre ordinaire, ce qui permet, avec la carabine rayée, de tirer de suite jusqu'à 200 coups, et, avec les canons, de ne pas employer l'écouvillon à chaque coup;

3° Enfin qu'elles sont moins brisantes, qu'elles endommagent moins les armes que la poudre ordinaire.

Ces faits semblent, de prime abord, en contradiction avec la théorie admise pour l'explosion de la poudre. Mais cette contradiction n'est qu'apparente.

L'augmentation des vitesses initiales résulte de la combustion plus régulière, plus complète et plus économe de son calorique, produite par des charges à volume restreint et purgées d'humidité et de

poussier nuisibles. Aux mêmes causes tient leur propriété de ne pas encrasser trop promptement les armes. Enfin, il est naturel que la densité de la charge et sa faible surface ralentissent l'inflammation de la masse entière jusqu'à l'instant où la flamme, l'enveloppant de toutes parts, en sépare les grains avec une rapidité supérieure à l'explosion des poudres ordinaires ; car ces grains sont parfaitement secs et purgés de poussier, et leur forme lamelleuse multiplie leur surface d'inflammation en réduisant leur épaisseur. Au commencement de l'explosion, la tension des gaz agira donc plus gragraduellement sur le projectile, en évitant ce choc subit, si funeste pour les armes à feu, qui se produit avec les charges ordinaires.

D'un autre côté, la charge, comprimée à un degré et sous une forme convenables, brûlera avec une rapidité suffisante pour se consumer tout entière et produire son effet maximum, avant que le projectile ait parcouru toute l'âme.

Ces faits présentent de l'analogie avec les résultats des *charges allongées* de M. le général Piobert. Elles consistent, comme on sait, à allonger la cartouche ou gargousse, en diminuant son diamètre, de manière à ménager, entre la charge et la paroi

de la chambre, un espace vide où se répandent les premiers gaz produits. Par ce moyen, leur température et leur tension s'élèvent plus lentement et empêchent tout choc de se produire. Dans les charges comprimées, le même effet s'obtient d'une manière plus complète par le ralentissement que la dureté de la charge fait subir à la propagation de la flamme. En outre, dans le tir à forte charge, nécessaire aujourd'hui pour transpercer les bordages d'acier, les charges comprimées ont l'avantage de tenir, au fond de l'âme, beaucoup moins de place que les charges allongées de M. Piobert. Dans le canon rayé italien de 40 (30 français), la charge comprimée de 7 kilog. économise, en longueur, 20 centimètres, qui réduisent d'autant la partie de la chambre exposée au maximum d'effet, assurent au projectile un siége plus convenable, et augmentent de 20 centimètres l'amplitude de détente des gaz.

En France, l'essai des charges comprimées a été pratiqué d'abord sur les armes de mousqueterie. Les cartouches comprimées, pour fusils ou carabines rayées, se fabriquent aujourd'hui d'une manière régulière, et sont de forme cylindrique et de diamètre égal à la balle. L'arrière de la charge

est légèrement convexe, tandis que l'avant pénètre, par un tourillon tronconique de 5 à 6 millimètres de diamètre, dans le corps même de la balle. Une bande de papier, large de 14 millimètres, est enroulée à double tour et collée dans le joint d'assemblage, et assure l'union du projectile avec la charge. La charge et le papier sont enduits à l'extérieur d'une couche mince de collodion composé de coton-poudre dissous dans 2 parties d'éther et 1 partie d'alcool.

Cette espèce de vernis sèche presque instantanément, et forme une pellicule qui préserve la surface extérieure de la charge contre l'humidité, sans l'empêcher de prendre feu très facilement avec la capsule ordinaire.

L'application des charges comprimées aux canons n'a pas encore donné de résultats définitifs. Les essais ont été faits sur des canons rayés, et il conviendrait de les pratiquer également sur des canons à âme lisse. On sait, en effet, que la vitesse initiale du projectile, dans le canon rayé, est moindre que dans l'ancienne bouche à feu, à cause de la résistance des rayures qui exigent une *tension beaucoup plus grande* des gaz de la poudre avant de mettre le projectile en mouvement. Il

paraît à craindre, sous ce rapport, que, dans les les bouches à feu à âme lisse, les charges comprimées n'aient pas le temps de brûler complètement, à moins qu'on ne leur donne une densité gravimétrique différente de celle qui convient pour les canons rayés.

Enfin, une question importante, qui s'étudie également à l'heure qu'il est, est celle des charges à poids variable, en poudre comprimée, pour les obusiers; ici, le problème présente des difficultés toutes particulières; mais il est probable que les charges comprimées seront bientôt complètement substituées aux charges ordinaires.

Après quelques remarques sur les économies que les charges comprimées réaliseront dans la consommation de poudre de guerre, et sur la simplification qu'elles apporteront dans le transport des munitions, M. Zandolini termine son article en recommandant vivement au gouvernement italien d'entreprendre, à ce sujet, des expériences en grand, de manière à résoudre la question dans le plus bref délai possible. Selon l'auteur, « il faut, dans « ces expériences, éviter toutes les recherches spé« culatives de science pure, comme, par exemple, « d'examiner si, pour les charges comprimées, il

« y aurait plus d'avantage à changer le dosage
« et la grosseur du grain de la poudre. Cela en-
« traînerait dans des discussions et des études très-
« compliquées, qui feraient perdre un temps pré-
« cieux. Il faut prendre notre poudre de guerre
« telle qu'elle est, déterminer les données néces-
« saires pour la transformer en charges compri-
« mées, c'est-à-dire établir la densité gravimé-
« trique la plus convenable pour chaque sorte de
« charge, en constater l'effet au pendule balistique
« et par le tir continu ; en même temps, fixer les
« corrections à introduire dans les tables de tir,
« définir les méthodes de fabrication à employer
« dans les établissements pyrotechniques et en
« campagne ; enfin, étudier les modifications qui
« doivent s'introduire dans le chargement des cais-
« sons de munitions. »

Dans le numéro de février 1863, de la même *Revue* (1), M. le capitaine Peckliner adhère pleinement aux conclusions de la notice de M. Zanolini. Il fait remarquer en outre que le ralentissement de la combustion, dû à la compression de la poudre,

(1) *Rapidità d'accensione delle cariche compresse nei cannoni*, page 178-181.

aurait pour conséquence la nécessité d'allonger les canons, comme on le faisait autrefois, à une époque où la poudre ne possédait pas encore sa rapidité d'explosion actuelle. L'auteur cite l'exemple de la coulevrine de Nancy, fondue en 1598, et dont l'âme avait 22 pieds de longueur, correspondant à 50 calibres. Mais il ajoute que de nos jours, pour les canons de gros calibre, une longueur excédant 5 mètres est pratiquement reconnue plutôt nuisible qu'utile. « Cela tient, dit M. Peckliner, à ce que, « dans un canon trop long, les gaz qui s'échappent « de la charge composée d'une poudre de trop ra- « pide combustion, ayant une vitesse supérieure à « à celle du projectile, tendent continuellement à « le dépasser, et par suite s'échappent en abon- « dance par le vent, avant que le projectile lui- « même, frappé avec une rapidité qui dépend de « la vitesse relative des deux corps en mouvement, « vienne à sortir par la bouche du canon, avec « l'excédant de vitesse des gaz. Cela explique le « phénomène observé dans quelques canons de « côte, au fond de l'âme desquels, après l'explo- « sion, on a trouvé le bouchon de foin qui était sur « la poudre. »

Il y aurait beaucoup à dire sur les inconvénients

énormes de la perte de force balistique due à l'existence du vent dans les armes à feu, et sur les moyens pratiques de le faire disparaître. Pour en donner une idée, nous citerons seulement ici les résultats que donne la formule des vitesses initiales, citée par l'*Aide-Mémoire à l'usage des officiers d'artillerie*, p. 923, et relative aux armes de mousqueterie. La vitesse résultant du *poids* de la charge combiné avec celui de la balle, en d'autres termes, la vitesse idéale y reçoit une correction négative mesurée par

$$\Delta = \kappa \frac{C^2 - R^2}{C^2}$$

κ = 1100, coefficient constant pour les armes portatives;
2C, calibre de l'arme, égal à 18mm. pour le fusil d'infanterie;
2R, diamètre du projectile, égal à 16mm.7 pour le fusil d'infanterie.

D'où l'on déduit Δ = 144 mètres.

Or, la vitesse effective de la balle est de 445 mètres. L'augmentation qui résulterait de la suppression du vent serait donc de 34 p. 0/0.

A la vérité, si la balle remplissait exactement la section de l'âme, elle offrirait à l'air, dans son mouvement, une surface de résistance plus grande dont l'inconvénient serait encore accru par l'augmentation de la vitesse. De sorte que l'accroisse-

ment théorique de la portée surpasserait l'effet produit dans la pratique. La solution de la difficulté consisterait donc à construire une arme et un projectile tels que, non-seulement le vent fût complétement supprimé pendant la détente utile des gaz, mais encore que le projectile, au sortir de la bouche à feu, offrît à l'air une section transversale minima, inférieure même au diamètre des projectiles cylindro-coniques actuels.

Nous reviendrons sur ce sujet, à propos des idées que nous avons consignées dans deux mémoires cachetés, déposés sur le bureau de l'Académie des sciences de Paris, le 16 mars et le 11 mai 1863. Mais nous pensons, avec M. le capitaine Pechlinër, que les rayures héliçoïdales, tout en communiquant au projectile une rotation rapide, qui raréfie l'air autour de lui, par un effet centrifuge, durant tout son parcours, peuvent, il est vrai, augmenter sa portée effective, avec une vitesse initiale moindre que celle obtenue avec un canon lissé. Ce fait, on le sait, a été mis hors de doute par les expériences pratiquées, le 29 décembre 1862, à Shoeburyness, où le projectile d'un canon lissé de 68, à la distance de 183 mètres, produisit plus de force vive que la pièce rayée

d'Armstrong de 110, et que la pièce également rayée de Whitworth de 120; résultats qui furent constatés, non au canon-pendule ni au pendule-balistique, mais sur un revêtement en fer de 0,m41 recouvrant un mur en maçonnerie.

Pour en revenir aux charges comprimées, il résulte des faits analysés ci-dessus, d'après M. Zanolini, que la compression, favorisée par la chaleur, modifie profondément les propriétés de la poudre. Il serait donc logique de pousser plus loin ces expériences; et au lieu de se borner, comme le conseille M. Zanolini, que l'urgence de la défense nationale préoccupe avant tout, aux résultats acquis avec la poudre officielle, il faudrait étudier les effets qui seraient produits par la modification de sa constitution chimique.

On n'ignore pas que le prix élevé de cette substance engagerait d'ailleurs les chimistes à proposer des matières fulminantes obtenues à plus bas prix.

En attendant que la science se complète sur cette grave question, nous rappellerons sommairement les qualités balistiques du coton-poudre, dont le *Memorial de Artilleria* (1863) nous annonce un projet d'application aux armes à feu rayées, en Espagne. Il nous paraît certain que la compres-

sion, et, au besoin, l'addition d'une substance quelconque mélangée avec cette poudre, ôterait au fulmi-coton l'inconvénient d'être *brisant*, sans nuire aux éminentes qualités qui en feraient une poudre de guerre excellente. Enfin, le prix de revient de cette substance, à force balistique égale, n'est que *de moitié* supérieur à celui de la poudre ordinaire; et il n'est pas douteux que la fabrication en grand perfectionnée, la compression qui rendrait le fulmi-coton plus transportable, enfin l'abaissement du poids des charges, pour les divers calibres, amèneraient cette poudre si remarquable à la consommation la plus économique.

D'après MM. Pelouze et Frémy (*Chimie générale*, tome IV, p. 535), pour obtenir un effet déterminé avec le pyroxyle ou coton-poudre, il suffit de $^1/_4$ du poids de la poudre ordinaire, sous le même volume.

En d'autres termes, le coton-poudre étant comprimé de manière à égaler, en densité, la poudre ordinaire, il offre une force balistique quatre fois plus considérable.

Mais, à poids égal, d'après M. Regnault (*Chimie*, tome IV, p. 163), il coûte six fois davantage.

Par suite, à force balistique égale, il coûte 50 % plus cher que la poudre.

Le danger de faire éclater les armes oblige de n'y employer que des charges très-faibles de coton-poudre. Un fusil de guerre, qui reçoit une charge normale de 9 grammes de poudre ordinaire, crèverait, suivant MM. Pelouze et Frémy (p. 533), avec 7 grammes seulement de fulmi-coton. Mais voici les qualités éminentes de cette poudre :

« Le coton-poudre, employé dans les fusils, dit « M. Regnault (p. 163), donne à la balle la même « vitesse initiale qu'un poids de poudre quatre fois « plus considérable. Il a l'avantage de se brûler « complètement et de ne pas laisser, comme la « poudre, un résidu qui finit par encrasser l'arme « et nuit beaucoup à la précision du tir. Le coton- « poudre est d'un transport moins coûteux que la « poudre, puisqu'il en faut un poids quatre fois « moindre. Il n'est pas susceptible de s'altérer, « comme la poudre, pendant le transport et par « l'humidité. Son prix de revient est six fois plus « élevé que celui de la poudre. Enfin, sa fabrica- « tion en grand a occasionné plusieurs accidents « graves ; mais ceux-ci seraient peut-être faciles « à éviter dans une fabrication régularisée. »

« Le coton-poudre, disent MM. Pelouze et « Frémy (p. 530-535), ne produit ni fumée, ni

« crassé, et donne moins de résidu que la poudre « ordinaire. La pression l'amène à n'occuper que « le volume d'un poids équivalent de poudre. Son « seul inconvénient est d'être une poudre bri- « sante ; mais il est probable qu'on parviendra à « régler cette combustibilité, comme on l'a fait pour « la poudre elle-même. Enfin, la vapeur d'eau, « produite par la volatilisation du pyroxyle ne « mouille pas les armes, à cause de sa haute tem- « pérature et de l'expulsion instantanée des gaz.
« Le pyroxyle coûte de 4 à 5 francs le kilogramme.
« La formule chimique du coton-poudre est :

$$8HO + C^{24}H^{17}O^{17}, 5Az.O^{5} = C^{24}H^{20}O^{20} + 5(AzO^{5},HO).$$

« La composition, en poids, du coton-poudre « est :

Carbone.	25.40
Hydrogène.	2.99
Azote.	12.34
Oxygène.	59.27
Total.	100.00

On peut remarquer que l'oxygène entre dans cette composition pour environ les 6/10 du poids du pyroxyle. Ce fait expliquerait suffisamment l'énorme combustibilité du coton-poudre.

Au reste, le coton n'est pas la seule substance que l'acide azotique monohydraté transforme à froid en matières insolubles éminemment explosives, et donnant subitement un volume de gaz de 600 à 800 fois supérieur au leur. (Regnault, t. IV, p. 162.) La cellulose, l'amidon, les sucres offrent, sous ce rapport, les mêmes propriétés que le coton.

Le pyroxyle, lorsqu'il est convenablement préparé, fulmine à une température de 170° environ, et donne un mélange d'oxyde de carbone, d'acide carbonique, d'azote et de vapeur d'eau.

« Le chanvre, le lin, le linge, le papier, et en « général toutes les matières composées de cellu- « lose, dit M. Regnault, p. 168, donnent des pro- « duits analogues ; mais leur inflammabilité et leur « pouvoir balistique ne sont pas les mêmes : cela « tient, sans aucun doute, aux différences de cohé- « sion que la cellulose présente dans la substance « primitive. L'amidon donne un produit semblable, « que l'on a distingué sous le nom d'*amidon azoti-* « *que* ou de *pyroxam*, et qui paraît présenter la « même composition que le pyroxyle. Mais le py- « roxam s'altère spontanément, surtout à l'air « humide. »

En présence de données aussi positives, il est à peine explicable que les essais sur la série des *pyroxyles* n'aient pas été poursuivis et rendus pratiques depuis l'époque de la découverte du coton-poudre. La révolution qui s'accomplit, depuis quelques années, dans l'artillerie, ne doit pas s'arrêter aux perfectionnements restreints dont la poudre à canon est susceptible. La science pyrotechnique doit aller au-delà et dominer un plus vaste horizon. Nous faisons des vœux pour que l'attention des comités d'artillerie se reporte sur cette grave question, d'une importance économique si considérable, et les progrès déjà réalisés en France, sous un patronage auguste, entreront dans une phase nouvelle de découvertes aussi utiles pour la paix universelle que profitables à la science qui l'aura assurée.

DE LA HUNIÈRE.

OBSERVATIONS

SUR LE

CIMENT HYDRAULIQUE ARTIFICIEL DE PORTLAND,

D'APRÈS LES COMPTES-RENDUS DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE LONDRES.

Par V. PROU, ingénieur civil.

Les premiers essais relatifs à la force de cohésion des ciments remontent, en Angleterre, à l'année 1838. Ils furent pratiqués, par MM. Francis et White, sur un prisme composé de briques ordinaires, liées avec du ciment romain. Ce prisme, posé sur deux appuis, qui en supportaient les extrémités, fut successivement soumis à des charges croissantes, et l'on nota avec soin les divers fendillements produits dans la masse, jusqu'à l'instant de la rupture.

Depuis cette époque, la fabrication des ciments artificiels s'est perfectionnée rapidement ; et l'un

de ses plus remarquables produits est aujourd'hui, connu partout, sous le nom de ciment de Portland.

Ce n'est pas que la substitution de ces matériaux artificiels, aux substances similaires fournies par la nature, se soit opérée sans obstacle. De nombreux tâtonnements furent pratiqués, avant qu'on eût réussi à fabriquer des ciments supérieurs aux ciments naturels, dont la propriété de prendre rapidement sous l'eau, c'est-à-dire leur *hydraulicité*, constitue la qualité suprême et le signe caractéristique. Il ne suffit pas, en effet, qu'une substance durcisse promptement sous l'eau pour être réputée *hydraulique ;* il faut encore, il faut surtout qu'elle ne se ramollisse jamais ; ce qui arrive parfois au bout d'un certain temps, lorsque le ciment contient encore des parties solubles.

La découverte des ciments et mortiers hydrauliques a été, sans contredit, l'une des plus fécondes de notre époque. Sans eux, les immenses travaux des chemins de fer n'auraient pu s'exécuter avec cette rapidité merveilleuse, qui sera la gloire de ce siècle. La vieille méthode des maçonneries à chaux grasse eût ajourné, à une époque lointaine, l'achèvement du magnifique réseau des voies ferrées

européennes et les nombreux progrès qui s'y rattachent.

En Angleterre, le ciment s'emploie de préférence pour la maçonnerie de briques, dont la pose est plus expéditive et plus commode que celle des pierres de grand appareil. Avant que celles-ci aient pu être exactement posées, le ciment interposé fait prise et ne produit qu'une liaison imparfaite. Pour y remédier, il faut souvent reprendre le travail, lisser le joint et le remplir à plusieurs reprises, en suivant, avec soin, les phases du durcissement du ciment. Celui-ci prend par partie et ne produit d'adhérence que sur quelques points; ce qu'il ne faut pas attribuer au manque d'affinité du ciment pour la pierre; l'expérience montre, au contraire, que sa force de cohésion égale celle du granite et des pierres les plus dures.

En France, un préjugé défavorable aux ciments artificiels à prise rapide, a fait adopter, dans d'immenses proportions, les chaux hydrauliques, employées, le plus souvent, avec un simple mélange de sable; et, dans certains cas, de pouzzolane ou trass, ou même de pouzzolanes artificielles, obtenues par la calcination de terres argileuses.

Toutefois, ces applications de la pouzzolane artificielle n'ont pas toujours été heureuses. A Alger, à Cherbourg, à Rochefort, les mortiers ont conservé un bon aspect pendant trois ou quatre ans; mais, à la longue, ils se sont dégradés et désagrégés complètement.

M. Vicat, celui des ingénieurs modernes qui a étudié cette question avec le plus de science profonde et de succès pratique, avait cherché à expliquer cette imperfection des mortiers de pouzzolane, par l'action de l'hypo-chlorite de magnésie, que l'eau de mer contient en abondance, sur la portion imparfaitement carbonatée du ciment; il en résultait, selon lui, une sorte de cristallisation, distincte de celle du carbonate de chaux ordinaire, et dont l'effet était de désagréger la masse entière du mortier. Il en concluait que les pouzzolanes d'origine volcanique, différentes sur ce point des pouzzolanes artificielles, indiquaient, comme moyen de production d'un ciment parfait, la nécessité de mélanger l'argile avec le carbonate avant la calcination. C'est sur ce principe que M. Vicat poursuivit ses recherches ultérieures.

A cette époque, M. Prost, manufacturier anglais,

fabriqua en grand des ciments hydrauliques artificiels, sans réussir à leur donner des qualités de nature à supplanter le ciment romain, dans l'estime des constructeurs.

Les expériences du général Pasley, faites en commun avec M. Prost à la même époque, ont été publiées et sont connues de quiconque s'intéresse à cette question curieuse. Le général semble avoir pensé, avec M. Prost, que les ciments artificiels, fabriqués avec tout le soin convenable, doivent surpasser les ciments naturels; mais ses recherches sur les meilleures proportions à suivre dans le mélange du carbonate et de l'argile, sans avoir abouti, ce nous semble, à la création d'un ciment plus liant, plus résistant que le meilleur ciment romain, ont cependant rendu d'immenses services, non-seulement aux fabricants de ciment, mais encore à tous ceux qui en emploient dans les constructions.

On voit, par là, que le problème restait à résoudre, et qu'il consistait, en mélangeant, dans de justes proportions, le carbonate de chaux et l'alumine, à produire un ciment supérieur à ceux qui s'obtiennent par la calcination des pierres naturelles.

Le ciment de Portland (1) paraît avoir atteint la perfection désirée. Aux qualités distinctives des meilleurs ciments, cette matière joint les propriétés particulières à la chaux, c'est-à-dire à la chaux mélangée de substances étrangères en excès, telles que sable ou gravier, ou bien saturée d'eau et réduite en pâte. Dans ces conditions, le ciment de Portland prend lentement, mais il acquiert, avec le temps, une dureté prodigieuse ; et si on le mélange avec le sable, qu'on ajoute d'ordinaire en proportion plus faible aux ciments, il fait prise aussi promptement que le ciment romain, et présente une dureté supérieure.

Le ciment romain, mélangé avec trois parties de sable, ne peut être employé en béton ; et à l'état de pâte, ses propriétés liantes sont si incertaines, qu'on ne saurait l'appliquer avec une sécurité complète.

Le ciment de Portland, au contraire, mélangé avec cinq ou six parties de sable, produit un mortier dont la rapidité à faire prise dépend de la proportion du sable. Quant à ses usages, sous forme de

(1) Ce nom vient de sa couleur, qui est celle des pierres tirées des carrières de Portland.

pâte ou de béton, on en fera mention plus loin.

La fabrication du ciment de Portland repose en partie sur les méthodes de production des ciments artificiels, dues à MM. Frost et Pasley.

La craie et l'argile, dosées exactement, puis mélangées dans l'eau, sont ensuite réparties dans des baquets ou réservoirs. Quand le mélange a atteint la consistance convenable, on le sèche artificiellement ; puis on le met au four. La calcination se fait comme pour la chaux et pour le ciment romain, mais elle est plus prolongée.

Retiré du four, le ciment de Portland est broyé et passé au crible; on s'assure ensuite, par des essais répétés, qu'il présente les qualités de prise désirées. Tous les jours, on soumet à la rupture par extension, après 24 heures de prise, des prismes de briques, agglomérés avec les divers échantillons du ciment nouveau, qui doit satisfaire aux conditions requises, avant d'être encaissé et livré au commerce.

Les ingénieurs français essaient, d'une manière analogue, les ciments qu'ils emploient dans les travaux publics.

La progression croissante de la cohésion du ciment de Portland est très-remarquable :

Au bout de 7 jours, cette cohésion dépasse 7 kilogrammes par centimètre carré ; au bout de 3 mois, elle atteint 29 kilos par centimètre carré, comme on l'a constaté sur le prisme essayé à l'Exposition universelle de Londres, en 1851.

Une autre méthode d'essai, pour reconnaître la cohésion d'un ciment, est appliquée en France ; mais elle est moins parfaite que celle qui précède. Elle consiste, d'après M. Vicat (1), à faire pénétrer dans l'échantillon soumis à l'essai, une pointe métallique adaptée à un appareil convenable. La pénétration se mesure à l'aide d'une échelle graduée établie sur la tige ; mais cette méthode, expéditive pour les échantillons de fabrique, ne pourrait s'appliquer sous l'eau, et elle n'est pas susceptible de déterminer la puissance de liaison du ciment.

La préparation des ciments naturels consiste, comme chacun sait, à calciner la pierre dans des fours ouverts, de manière à lui enlever son acide carbonique. Elle est ensuite broyée à la meule et mise en caisses ou en barils, pour être livrée à la consommation courante. Cette fabrication est toute simple et très-économique. Mais celle du ciment de

(1) Voir le *Traité pratique et scientifique des mortiers calcaires et ciments naturels ou artificiels* de L. J. Vicat.

Portland exige des précautions plus minutieuses, une durée et un degré de calcination déterminés, qui influent sur le prix de revient du produit, plus sensiblement que l'acquisition des matières premières, substances communes et peu coûteuses.

M. Vicat a inséré dans les *Annales des Ponts-et-Chaussées* des observations importantes sur les effets d'un mélange de mortier de chaux et de ciment de Portland, avec l'exposé de ses recherches sur les propriétés du ciment calciné *jusqu'à ramollissement*, c'est-à-dire, sans aucun doute, jusqu'au point où la chaux commence à se vitrifier.

Dans ses expériences sur le mélange des ciments naturels avec les chaux hydrauliques artificielles, M. Vicat mélangeait ces matières à l'état de pâte, durant le cours de la fabrication ; mais il trouva que c'était une opération très-lente, très-préjudiciable à la force de cohésion du produit, et par suite trop coûteuse pour être praticable avec avantage. Bientôt, il fut conduit à mélanger le ciment avec du mortier de chaux, et il obtint un produit offrant une force de cohésion remarquable, une facilité de prise énergique, et une résistance particulière à l'action de l'eau salée.

Il reconnut en outre, dans le cours de ses expériences, que les plus vieux ciments communiquent à la chaux une hydraulicité plus grande. Cela tient sans doute à ce que le vieux ciment, cédant à la chaux ses propriétés énergiques, en même temps que son humidité, offre l'alumine en excès et joue le rôle d'une pouzzolane, par rapport au mortier de chaux en présence. Des blocs de béton, formés d'un mélange contenant 6 parties de chaux et 10 de ciment, ont présenté autant de cohésion que les meilleures chaux hydrauliques naturelles; tandis que les mélanges de 1 à 5 parties de chaux avec 10 de ciment n'ont produit que l'effet des mélanges de pouzzolanes.

D'autres expériences, pratiquées par le savant ingénieur, sur des mélanges de ciment frais et de chaux, donnèrent les résultats suivants :

Le mélange de 10 parties de ciment avec 8 parties de chaux fit prise au bout de 16 jours; à cette époque, le poinçon d'essai y pénétrait de 5 millimètres. Après 11 mois d'immersion, ce ciment avait perdu toute sa consistance : le poinçon y pénétrait jusqu'à 1 centimètre, avant de toucher le noyau solide. On voit par là que le mélange du ciment frais avec la chaux doit être exclu comple-

tement, dans l'exécution de grands travaux hydrauliques. La même proportion de vieux ciment, mélangée avec de la chaux, prit en deux jours et acquit une résistance au poinçon quadruple de celle du mélange précédent. Ce ciment avait l'avantage de durcir très-vite à la surface, et de se couvrir ainsi spontanément d'une croûte susceptible de résister à l'action des vagues. D'un autre côté, cette croûte permettait aux couches intérieures du mortier de faire prise successivement et d'atteindre par degré jusqu'aux dernières limites de la dureté.

Les cas où le ciment, par suite de vétusté, aurait réabsorbé, avant l'emploi, l'acide carbonique ou l'humidité de l'atmosphère, sont assez rares, et ne se présentent guère que dans l'exportation lointaine, où l'intervalle entre la fabrication et l'emploi est assez long pour éventer le ciment. Il paraît certain que l'addition de la chaux, dans ces circonstances, lui rend une partie de ses qualités primitives : mais ce cas est le seul où le mélange de chaux soit avantageux.

Voici maintenant les observations consignées par M. Vicat dans les *Annales des Ponts-et-Chaussées*, sur ce qu'il appelle *ciments brûlés*, par op-

position aux ciments *cuits* à point, au nombre desquels se trouve celui de Portland :

« L'action de prise de ces ciments est variable, « dit M. Vicat. Dans quelques cas, elle dure une « heure ; dans d'autres, elle exige plusieurs semai- « nes. La difficulté de les broyer et la quantité de « chaleur nécessaire à leur calcination sont, à mes « yeux, des obstacles insurmontables à leur adop- « tion ; mais, si l'on considère leur propriété de « durcir progressivement et leur puissance de co- « hésion normale, on doit convenir que ces pro- « duits remarquables sont de beaucoup supérieurs « à toutes les chaux hydrauliques naturelles. « 14 kilog. par centimètre carré mesurent le maxi- « mum de compression que puisse ordinairement « supporter la chaux ; ces ciments, au contraire, « atteignent cette résistance en peu de jours, et « finissent par résister à une charge de 49 kilog. « par centimètre carré, cohésion supérieure à celle « des pierres lithographiques ordinaires.

« Deux parties de sable réduisent cette résis- « tance à 24 kil. 50, soit de 50 °/₀; mais il est « évident que ces ciments offrent la solution du « problème de fabriquer une pierre artificielle,

« égale en dureté et en densité au rocher calcaire « compacte. »

Le ciment de Portland, quand il est pur, résiste jusqu'à 141 kilog. par centimètre carré. Avec deux parties de sable, sa cohésion limite correspond à 88 kilog. Comme pierre agglomérée, il dépasse donc de beaucoup les résultats obtenus par M. Vicat.

Ce savant ingénieur fait remarquer, d'ailleurs, que le ciment de Portland possède toutes les propriétés des ciments *surcuits*, avec une rapidité de prise modérée ; que sa densité est de moitié supérieure à celle des autres ciments : enfin, que l'analyse chimique le montre identique avec les chaux éminemment hydrauliques. — « Le fait le « plus digne de remarque, en ce ciment, dit-il, « c'est sa grande dureté ; et par suite, la résistance « qu'il oppose à la fois aux actions mécaniques et « chimiques des eaux de mer, dans des circons- « tances où les pouzzolanes et les meilleures chaux « hydrauliques seraient rapidement détruites. — « A l'aide de ce ciment, il est possible de fabriquer « de grandes masses de pierres, agglomérées en un « seul bloc, et d'obtenir, au bout de quelques « mois, la dureté des roches calcaires compactes,

« Pour cela, il faut employer exclusivement des « ciments à prise lente, qui permettront de relier « l'ouvrage du lendemain à celui du jour précé- « dent, sans solution de continuité ni danger de « rupture : résultat qu'il serait impossible d'obte- « nir avec les ciments ordinaires à prise rapide. »

La manière dont les ciments font prise et atteignent leur dureté virtuelle n'est pas toujours bien expliquée. On attribue ordinairement ce phénomène à l'absorption, faite par le ciment, de l'acide carbonique de l'atmosphère, durant la période de la prise. Mais on a reconnu que cette absorption n'est qu'une partie des causes qui déterminent le durcissement du ciment. En fait, celui-ci résulte de la double combinaison de la chaux avec l'argile et la silice, produisant un silicate double de chaux et d'alumine, dans des conditions où le ciment est complètement soustrait à l'action de l'atmosphère. On sait, en effet, que les ciments employés sous l'eau durcissent tout aussi bien que s'ils étaient exposés à l'air ; et qu'à l'intérieur d'énormes blocs agglomérés, la prise du ciment est aussi complète qu'à la surface, bien que celle-ci atteigne une dureté plus grande, sous l'action immédiate mais

toujours superficielle de l'acide carbonique répandu dans l'air.

La chaux ordinaire, lorsqu'elle est pure, c'est-à-dire sans mélange d'argile, ne peut durcir que sous l'influence de l'acide carbonique, fourni par l'atmosphère, pour la ramener à l'état de carbonate de chaux. Mais comme ce gaz n'existe dans l'air qu'en petite quantité, son action sur la chaux est lente et faible ; et l'on sait que des murs, construits avec de la chaux grasse, ne durcissent qu'au bout de plusieurs années. Pour cette chaux, le contact de l'air est donc indispensable, tandis que pour les chaux hydrauliques, qui contiennent une petite quantité d'argile, et pour les ciments hydrauliques, où la proportion d'argile est plus considérable (1), le rôle de l'acide carbonique est véritablement insignifiant, la nature ayant réalisé des

(1) Voici la classification chimique des *chaux et ciments hydrauliques*, composés de *chaux* et *d'argile* :

1° Les *chaux hydrauliques* contiennent de 10 à 30 p. 0/0 d'argile.
Limite 34 p. 0/0 id.
2° Les *chaux-ciments* contiennent de 40 à 60 p. 0/0 id.
Limite 61 p. 0/0 id.
3° Les *pouzzolanes ou ciments hydrauliques* contiennent de 70 à 90 p. 0/0 id.
Les ciments ordinaires contiennent plus de 90 p. 0/0 d'argile.

conditions différentes, où la prise s'opère d'une manière plus énergique et plus complète. L'affinité particulière de la chaux pour la silice et l'alumine se montre au plus haut degré dans les ciments, naturels ou artificiels, qui sont le plus fortement calcinés et les plus lents à faire prise. C'est à cela que tient la supériorité du ciment artificiel de Portland.

Les proportions de chaux et d'argile constituant le mélange influent sur le degré de calcination, et par suite, sur la facilité de la prise. La lenteur du ciment de Portland à se solidifier en empêche l'emploi par immersion, surtout dans l'eau agitée, à moins qu'il ne soit tout à fait pur, ce qui augmente la dépense. Mais il n'en est pas moins vrai que cette lenteur le conduit par degrés à une solidité extrême, supérieure à celle des ciments à prise immédiate ; ce qui compense largement l'inconvénient apparent qu'on vient de signaler.

Le ciment de Portland se prête à de nombreuses applications, sous forme de mortier, béton, stuc, etc. Son emploi comme béton, dans les fondations d'ouvrages massifs, dont le poids doit être réparti sur une large base, est devenu si commun, qu'il est inutile d'y insister. Mais c'est dans la fa-

brication des blocs de pierres agglomérées qu'il offre les avantages de la simplicité et de l'économie.

M. Ranger est le premier qui ait songé, en Angleterre, à appliquer en grand cette méthode. Il formait des blocs d'un mélange de chaux, sable et gravier, en proportions convenables, et réussissait sans peine à en agglomérer la masse. Toutefois ses produits ne pouvaient résister à l'action des gelées, et ses prismes se rompaient sous des charges assez faibles. Ces inconvénients les firent rejeter par les hydrauliciens, qui regardèrent la fabrication du béton aggloméré comme impraticable, jusqu'à ce qu'une expérience mieux éclairée eût suggéré la solution pratique de ce problème.

Le ciment de Portland, mélangé avec une forte proportion de sable et de gravier, ne perd pas de sa force de cohésion naturelle; et il présente un grand avantage sur la chaux qui, malgré son prix inférieur, ne peut se mélanger avec plus de 7 fois son volume de matière étrangère.

Si l'on accorde que des blocs, fabriqués de chaux et de pouzzolane, peuvent, avec le temps, acquérir une résistance qui permette de les employer dans les revêtements des jetées, des murs de

quai, etc., il est hors de doute que le ciment de Portland, qui brave l'action des gelées, aussi bien que les chocs violents des vagues, et qui réalise l'homogénéité et la consistance parfaite des blocs où on l'emploie, ranimera la confiance dans ce genre d'application, que des essais imprudents ont fait rejeter jusqu'ici.

V. Prou,

Ingénieur civil.

(La suite prochainement.)

Sur les causes et les effets des explosions, avec quelques applications à l'art militaire.

D'après M. E. A. Abel, chimiste du département de la guerre anglais, par M. de Pervenger.

Les causes des explosions produites par des actions chimiques sont les suivantes :

1° Développement d'une température élevée, correspondante à la force de l'action chimique ;

2° Changement de l'état d'aggrégation des corps liquides ou solides qui passent instantanément ou du moins très-rapidement à l'état gazéiforme et occupent ainsi une espace démesurément plus grand.

Il arrive que les deux causes agissent simultanément ; dans ce cas, l'explosion est d'une violence extrême.

Les essais suivants constatent le développement de gaz dans les opérations chimiques :

a. Dissolution d'oxyde de zinc, qui est une base légère, dans de l'acide hydrochlorique et, par suite

de l'élévation de température, fusion du vase de métal très-fusible où était contenu l'acide.

b. Inflammation de coton-poudre par combinaison d'acide phosphorique dégagé d'eau avec de l'eau.

c. Explosion par la combinaison du chrôme avec le potassium malgré la formation d'un corps solide.

d. Violente explosion par la combinaison du chlore avec de l'hydrogène, l'un et l'autre à l'état gazéiforme.

Les explosions sont encore plus fréquentes par suite de décompositions que par suite de combinaisons; elles sont d'autant plus violentes que la décomposition est plus subite, que le développement de gaz est plus prononcé et que la chaleur qui se forme est plus intense.

C'est dans cette catégorie qu'il faut ranger les explosions qui ont lieu par décomposition de l'azotide de chlore, d'iode, etc., du mercure fulminant, de l'argent fulminant (fulminate d'argent), de certaines combinaisons organiques d'azote telles que la poudre-coton, la nitro-mannite, la nitro-glicérine. Cette dernière fait déjà explosion, si l'on place sur une enclume un morceau de pa-

pier à filtrer abreuvé de nitro-glycérine et que l'on y frappe un coup de marteau.

Par l'action de l'acide nitreux sur l'aniline à basse température, il se forme une substance très-explosive, le *Diazobenol* formé par l'acide nitrique de *Hoffmann*, qui déchire en morceaux, en faisant explosion, une tôle de cuivre placée dessous. Cette substance se rapproche de près du fulminate d'argent sous le rapport de ses qualités explosives, bien qu'elle en diffère essentiellement sous d'autres rapports. Le fulminate d'argent détone par suite du moindre frottement contre un corps dur, tandis qu'on peut, pendant longtemps, frotter, broyer le *diazobenol* formé par l'acide nitrique entre deux corps durs avant qu'il s'ensuive une explosion qui est évidemment le résultat de la chaleur développée par le frottement. Au contraire, le fulminate d'argent fait beaucoup plus difficilement explosion, parce qu'on peut, sans danger, le chauffer dans un tube de verre au bain d'eau, tandis que le produit d'aniline fait, dans les mêmes conditions, explosion avec la plus grande violence.

Les mélanges mécaniques de certaines substances sont aussi capables d'occasionner des explo-

sions. Le nombre des mélanges de ce genre est considérable : ils contiennent, d'une part, en général des corps riches en oxygène qui lâchent facilement leur principe oxydifiant, tels que les superoxydes, les nitrates et les chlorates, et, d'autre part, des substances qui ont une grande affinité avec l'oxygène, telles que le soufre, le phosphore, le charbon, l'hydrogène carboné, les métaux sulfurés et même les métaux qui s'oxydent facilement. C'est ainsi que les mélanges de soufre ou de fer réduit et de plus d'un superoxide s'enflamment avec une facilité extrême, et il y en a plusieurs qui font même explosion sous la percussion. Ces divers mélanges brûlent d'une manière d'autant plus intense, et l'explosion est d'autant plus violente, que le mélange des corps est plus intime. Il y a même des cas où les propriétés chimiques et physiques des corps mélangés exercent une influence déterminante, parce que la volatilisation à température élevée facilite l'inflammation. Ainsi le soufre s'enflamme plus facilement que le charbon, bien que l'affinité de ce dernier avec l'oxygène soit plus grande, et c'est dans la fabrication de la poudre militaire qu'on tire parti de cette propriété du soufre.

Le chimiste anglais du département de la guerre, pour éclaircir ces propriétés fit l'épreuve suivante :

Il remplit de gaz oxygène un grand vase en verre, et plaça sur l'ouverture supérieure une plaque de fer fortement chauffée, mais tenue dans des bornes telles qu'il ne put pas en résulter une inflammation du charbon. Le fond du vase était traversé par deux tubes en verre verticaux placés l'un à côté de l'autre, par lesquels on pouvait souffler de la poussière de soufre et de charbon et la chasser au dedans contre la plaque de fer. A l'insufflation du charbon il n'y eut aucun phénomène d'inflammation : la poussière noire retomba dans le vase. Mais lorsque, quelques secondes plus tard, il y souffla du soufre, celui-ci s'enflamma à la plaque chauffée, et, au même moment, fut aussi amenée l'inflammation du carbone suspendu dans le gaz oxygène, sous un magnifique développement de lumière.

Les combinaisons d'oxygène offrent également des différences très-remarquables, d'où l'on tire parti dans la composition des mélanges explosifs, pour en régulariser l'explosion.

Le protoxyde de potassium formé par l'oxyde chlorique et par l'acide nitrique contiennent le

même nombre d'atomes d'oxygène. Mais si l'on mêle ces deux sels avec la même quantité de phosphore amorphe pulvérisé et qu'on allume le mélange, le résultat qu'on obtient n'est pas le même.

Le mélange de salpêtre (nitrate de potasse) avec le phosphore ne brûle que d'une flamme extrêmement claire et brillante, tandis que le mélange de chlorate de potasse fait violemment explosion et fait voler en éclats le vase qui le contient.

Il y a des mélanges explosifs d'une instabilité telle que le moindre dérangement suffit pour produire l'inflammation qui, ayant éclaté sur un point, se propage rapidement et irrésistiblement par toute la masse. S'il y a encore en présence un mélange explosif beaucoup moins inflammable, celui-ci s'allume également et toute la masse fait à la fois explosion.

Les effets mécaniques des explosions sont aussi différents, selon les différences de vitesse dans la propagation de l'inflammation.

Il suffit de se rappeler à ce sujet les explosions de la poudre à canon, du fulminate d'argent ou du mercure.

Si l'on enflamme une traînée de poudre, on peut presque suivre à vue la combustion; le fulmi-

nate de mercure, au contraire, détone presque instantanément même en traînée d'une certaine longueur.

M. Abel a produit des morceaux de deux bombes crevées, dont l'une avait été chargée de 100 grains de fulminate de mercure et l'autre de 765 grains de poudre à canon. La première avait, pour ainsi dire, éclaté en poudre ; on n'en trouva plus que des éclats du poids de 1/7 de la bombe non loin du point d'explosion, tandis que les morceaux de la bombe chargée à poudre étaient lancés au loin ; ils étaient en même temps beaucoup plus grands et moins nombreux. Dans ce dernier cas, il avait fallu pour amener l'inflammation un temps mesurable ; d'où il résulte qu'il n'y a qu'une partie de la force qui avait été employée à briser la bombe, de même qu'une partie seulement de la même force avait agi à lancer les débris au loin.

L'inflammation successive, lente de la poudre et le développement également successif de la force de projection sont très-importants et très-favorables en matière d'armes à feu : la force de la première inflammation se consume à vaincre l'inertie du projectile ; à la suite l'effet va croissant rapidement, mais avec succession, de sorte

que le boulet est chassé sans que le canon soit soumis à une pression trop forte. Au contraire, les métaux fulminants ont une explosion instantanée et produisent le plus haut degré de tension des gaz engendrés même avant que le projectile ait eu le temps de se mettre en mouvement, de sorte que le canon est exposé à éclater sous l'influence de la prodigieuse pression qui s'est opérée soudainement, sans que le projectile ait été sensiblement poussé en avant.

M. Abel exécuta ses essais avec des canons de petit calibre, de mince tôle de cuivre. A charge de poudre, la bourre fut jetée à une assez grande distance sans que le canon en fût endommagé ; à charge de fulminate de mercure ou d'argent, au contraire, la bourre ne fut pas changée de place ; mais, par contre, le petit canon fut brisé, fracassé à l'endroit où s'était trouvée la charge.

Aussi se sert-on toujours, dans les carrières où l'on veut détacher de gros blocs de pierre sans les démembrer, d'une poudre très-lente et opérant à la manière d'un coin pénétrant peu à peu. Les métaux fulminants feraient au contraire briser, pulvériser les rochers sur place, sans conduire au résultat que l'on obtient par la poudre.

Il peut cependant arriver que l'effet de la poudre, dont l'action est si lente comparativement à celle du fulminate d'argent, soit trop prompt et trop précipité.

De nouveaux essais auxquels se livra M. Abel, prouvèrent qu'avec des canons longs et de grande contenance la charge peut être brûlée avant que le boulet soit poussé à une distance considérable. Quand cette éventualité se réalise, le canon crève inévitablement, soit par suite de la mauvaise qualité du métal, soit par suite de celle de la charge ; et c'est toujours la partie du canon entre les tourillons et la culasse qui éclate.

C'est pour cette raison que le canon américain Dahlgren en fer est extrêmement épais à cette région pour pouvoir résister à l'action des grandes charges.

Dans tous les cas où l'on se propose d'employer une poudre facilement inflammable dans des bouches à feu de fer fondu, il convient de les grossir beaucoup depuis la culasse jusqu'aux tourillons, sans s'arrêter à la difficulté plus grande de la fusion. Si au contraire on fait usage d'une poudre plus inerte, la force de paroi peut être beaucoup plus uniforme, parce que la pression des gaz se

répartit sur une plus grande longueur de canon.

De même l'action successivement croissante de l'explosion est de la plus grande importance pour tous les canons rayés.

Dans les mortiers et les obusiers, au contraire, le projectile n'a qu'un petit trajet à fournir et, par conséquent, l'emploi d'une poudre facilement inflammable est alors commandé : si l'on emploie la même poudre qu'avec les canons ordinaires, il s'en perdra toujours une partie qui ne sera pas brûlée.

Heureusement on peut modifier la combustion de la poudre de différentes manières, soit par un changement apporté à la composition, soit par un mélange plus parfait, soit enfin, — et c'est la manière la plus rationnelle, — par un grenage différent de la poudre. Plus le grain de la poudre est fin, plus la combustion est rapide.

On a aussi essayé de la poudre à gros grains ou à fragments ; on a trouvé que, dans certaines conditions et avec un bon emploi de cette espèce de poudre, les boulets sont lancés aussi loin et d'une manière beaucoup plus uniforme que par la poudre à grain usuel.

Dans la pyrotechnie on parvient à de bons résultats en combinant une pression uniforme et exac-

tement réglée avec des modifications apportées à la constitution physique et chimique de la poudre, et en l'enfermant en même temps dans des enveloppes convenables.

C'est ce qui a lieu, par exemple, pour les fusées des bombes qui permettent de régler exactement le temps qui s'écoule entre le départ de la bombe et l'inflammation. Les signaux et d'autres mécanismes pyrotechniques sont fondés sur le même principe.

Mais il peut y avoir aussi des cas où la force écrasante de certains mélanges instantanément inflammables est d'un grand avantage, comme aux travaux de mines, dont le but est d'opérer une destruction aussi grande que possible. M. Abel a fait de nombreux essais dans ce but; mais l'emploi du coton-poudre a seul donné un résultat d'une valeur pratique. Le protoxyde de potassium chloraté dut être, malgré ses qualités précieuses, presque complètement abandonné, parce qu'il ne peut être manié qu'avec le plus imminent danger, malgré la plus grande attention qu'on emploie.

Les échantillons de compositions de cette espèce sont : la poudre fulminante, composée de protoxyde de potassium chloraté et d'orpiment (sulfure

jaune) sesquisulfure d'arsenic, la poudre blanche de protoxyde de potassium chloraté, de sel lixiviel (alcalin) et de sucre.

Ces mélanges et d'autres analogues s'enflamment trop facilement par la percussion. Un grand nombre de poudres explosives contenant du protoxyde de potassium chloraté peuvent être enflammées par le simple contact avec l'acide sulfurique; c'est ce qui arrive pour le protoxyde de potassium chloraté avec le sucre ou le sulfure d'antimoine.

D'autres, tels que le protoxyde de potassium chloraté et le phosphore rouge, font explosion au moindre frottement.

Sir W. Armstrong en a fait une application en 1862 en recouvrant le mélange de gomme laque et les plongeant dans une cavité pratiquée dans un morceau de bois. Si l'on plante un ferret ou une pointe dans le mélange, celui-ci s'enflamme par suite d'un coup faible porté sur la tête du ferret.

M. Abel a décrit plusieurs cas d'explosion qui ont eu lieu dans des moulins à poudre en dépit des précautions les plus minutieuses et les plus intelligentes. Dans un des cas cités, l'inflammation d'un moulin fut transmise à un autre moulin au

moyen d'un arbre de transmission qui était destiné à verser, au moyen d'une disposition particulière, une grande masse d'eau sur le moulin à poudre, dans le cas où une inflammation se déclarerait. Mais c'étaient précisément les parcelles de poudre adhérentes à l'arbre qui propagèrent l'inflammation à travers les murs intermédiaires et qui, par suite de l'explosion qui éclata soudainement sur tous les points, neutralisèrent l'action du mécanisme hydraulique.

Les mélanges explosifs qui sont d'une nature exceptionnellement inflammable ont cependant, malgré l'imminent danger qu'ils entraînent, donné lieu à un grand nombre d'applications utiles.

Les capsules ordinaires, par exemple, sont remplies d'un mélange de fulminate de mercure et de protoxyde de potassium chloraté; le mélange de protoxyde de potassium chloraté et le sulfure d'antimoine sont utilisés pour la construction des fusées de friction et de percussion, et ils servent aussi à l'inflammation de signaux avec le concours de l'acide sulfurique : ce sont des fusées de ce genre que les Russes employaient à la guerre de Crimée pour faire sauter des mines

sous-marines contre les navires de guerre ennemis Ces mines contenaient un mince petit flacon de verre rempli d'acide sulfurique; le flacon était enveloppé d'un mélange du genre de celui que nous venons de signaler. Au-dessus du flacon se trouvait une tige de fer qui, atteinte par les vaisseaux, brisait le flacon et faisait faire explosion à la masse d'inflammation et par conséquent à la mine.

Il y a encore beaucoup d'autres fusées qui s'allument d'une manière analogue. Une bombe munie d'une fusée de la nature de celles dont nous parlons, ferait donc explosion au moment où elle serait subitement arrêtée, parce que le coup violent effectué par l'action d'arrêter, produit l'inflammation du mélange fulminant, et, par suite, celle de la charge.

Un mécanisme de cette espèce, c'est, par exemple, une mince enveloppe de plomb qui s'aplatit par la décharge et dégage un boulet rempli du mélange explosif. Ce boulet reste immobile à sa place aussi longtemps que le projectile fournit son vol; mais dès qu'il frappe sur un objet dur, le boulet est lancé sur la paroi opposée du projectile, le contenu fait explosion et allume la charge du projectile au moyen d'une mèche qui se consume

vivement. Quand il s'agit d'allumer des mines par l'électro-magnétisme, il faut avoir soin que les mélanges en question soient, jusqu'à un certain point, bons conducteurs d'électricité, afin que les faibles courants puissent ainsi ramener l'interruption de la conduite.

Il existe plusieurs compositions de cette espèce douées des meilleures qualités, et M. Wheatstone a inventé un instrument portatif et toujours disponible, destiné à usage militaire et servant à allumer simultanément un certain nombre de mines plus ou moins distantes les unes des autres.

Projet d'un nouveau câble transatlantique.

Par M. de Pervenger.

Il n'y a pas plus de trois ans, Iles les Britanniques et les États-Unis d'Amérique étaient reliés entre eux par une ligne télégraphique sous-marine. Au bout de trois semaines, pendant lesquelles on ne put transmettre que 300 dépêches, la communication fut immédiatement interrompue. Cette tentative faite dans le but de réunir par le télégraphe électrique l'ancien et le nouveau monde,

est, dit-on, sur le point d'être reprise. Les ingénieurs de la Compagnie transatlantique ont fait les recherches les plus actives dans le but de trouver un câble offrant toutes les chances de succès; et aujourd'hui ils sont prêts à renouveler cette grande expérience.

Les expériences de physique enseignent que le cuivre transmet le courant électrique avec une vitesse d'autant plus grande qu'il est plus pur. Le nouveau câble transatlantique sera construit en cuivre d'une pureté parfaite; le conducteur pèsera 520 livres (235 kilogrammes 56) le mille, et le corps isolant pèsera 550 livres (249 kilogrammes 15); la transmission n'aura lieu que par un seul faisceau de fil placé au centre du câble. Tous les fils de fer préservateurs seront isolés l'un de l'autre à l'aide d'une couche de gutta-percha, et, par suite, indestructibles. Le faisceau conducteur sera protégé par huit enveloppes, dont quatre en gutta-percha et quatre en matière de challeton. La longueur du câble nécessaire pour réunir l'Irlande à Terre-Neuve est de 2,000 milles marins (3,218 kilom.); la distance géographique n'est que de 1,640 milles (2,639 kilom.). Les dépenses exigées pour l'exécution de ce vaste projet sont éva-

demment très-élevées; mais les gouvernements anglais et américain sont tout disposés, dit-on, à venir en aide à la Compagnie transatlantique. Le gouvernement américain serait prêt à garantir 2 °/。d'intérêt sur un capital de 17,500,000 francs, si le gouvernement anglais se portait garant pour une portion d'intérêt égale.

Les ingénieurs qui ont pris part à la pose du premier câble, s'accordent tous à regarder comme assuré le succès de ce nouveau projet.

NOUVELLES MILITAIRES.

ANGLETERRE. — 23 mai 1863 (*Times*). Un petit modèle de canon se chargeant par la culasse, construit sur un nouveau principe par l'inventeur, M. W. Broadwell, de la Nouvelle-Orléans (Etats-Unis), a été essayé le 22 mai dernier en présence du comité de l'arsenal de Woolwich, et a fourni des résultats satisfaisants. Les principales qualités du nouveau canon résident dans la simplicité remarquable de son mode de chargement par la culasse, et dans la structure solide que l'inventeur a

réussi à lui donner, et qui lui a permis, dans l'essai périlleux qu'il vient de subir, de résister à toutes les épreuves. Le canon est exécuté à une petite échelle, en vue seulement des expériences ; et lorsqu'il sera construit sur de plus grandes dimensions, il paraît devoir constituer une arme excellente. Point de long apprentissage pour initier le canonnier à sa manœuvre : la méthode du chargement consiste tout simplement à ôter et à remettre en place un petit bloc de fer, pour l'introduction de la charge. Au moyen d'un anneau qui se dilate spontanément dans la détente, la culasse se trouve hermétiquement fermée à l'instant de la décharge, sans gêner le rôle de la lumière. Le projectile inventé par M. Broadwell pour le service de son canon, est de forme allongée et d'une structure simple et pratique.

28 *Mai* 1863. — Les travaux relatifs à l'établissement des forts et batteries, près de Garrisson-Point, à l'entrée de la Medway, pour compléter les moyens de défense des chantiers et arsenaux de la marine, à Chatam, ne seront pas conduits de suite à leur parfait achèvement. On n'a point renouvelé les délais pour la poursuite de cet ouvrage, parce que le gouvernement désire terminer la première ligne, c'est-à-dire la ligne extérieure de défense. Viendront ensuite, sur une vaste échelle, les travaux d'agrandissement des arsenaux mariti-

mes de Chatham. Les fondations du fort casematé imposant, qui doit être établi à l'extrémité de Garrison-Point, commencées il y a 22 mois, sont complètement interrompues, afin de permettre à ces fondations de se consolider et de prendre leur assiette fixe, avant de recevoir le corps de construction supérieur. L'exécution de ce dernier commencera par la 1re section, comprenant les ouvrages afférents à la première ligne de casemates, où l'on installera des canons du plus fort calibre. Le fort est demi-circulaire ; son front fait face au chenal d'arrivée au port de Chatham. Il se compose de deux étages ou rangs, et sera construit avec une solidité supérieure à tout ce qu'on a exécuté, de nos jours, en ce genre. La position du premier fort, ou fort extérieur, permettra d'atteindre tout bâtiment ennemi qui entrerait dans la Medway du côté de l'est, jusqu'à ce que les canons du second, placés *en barbette*, commandent la passe tout entière, par où les vaisseaux franchissent l'embouchure de la rivière, jusqu'à Chatham.

Pour assurer la bonne exécution des fondations et du reste de la construction de ces ouvrages, les travaux seront adjugés à des entreprises séparées, dont la responsabilité, n'expirant qu'à l'époque du complet achèvement du fort, sera une garantie matérielle de la solidité et de la sûreté de la construction. Le front occidental de l'ouvrage com-

mande, jusqu'à 1,000 yards de distance, le chenal parcouru par tous les bâtiments qui se rendent à Chatham. Les canons de la batterie de Garrison-Point, croisant leurs feux avec ceux de Martello Tower, établis de l'autre côté de la passe, mettraient en pièces toute escadre ennemie qui tenterait de forcer le chenal, du côté de la Nore.

Le numéro du 1er juin contient, dans sa correspondance de New-York, d'intéressants détails sur l'attitude d'une frégate cuirassée, dite *à côtes de fer* (*Ironsides*), dans l'attaque de Charleston (du 7 au 12 avril dernier). On l'avait comparée au *Warrior* et à la *Gloire*, et elle était réputée beaucoup plus formidable. Armée de 16 canons, dont deux de 100, elle ressemblait à une immense maison, recouverte d'un toit en forme de comble, à rampants roides des deux côtés. La maison elle-même plongeait dans l'eau jusqu'au premier rang de sabords. Le *Ironsides* s'avança lentement et majestueusement, à l'avant-garde de l'escadre d'attaque, sous le pavillon de l'amiral Dupont. Tous les spectateurs étaient persuadés que si le succès de l'attaque devait se mesurer à l'attitude hardie des assaillants, la frégate de l'amiral Dupont s'y couvrirait d'une gloire impérissable. Derrière le *Ironsides* s'avançaient, sur deux lignes, des bâtiments de force moindre, du système du *Monitor*,

munis chacun d'une tourelle tournante avec deux canons, dont le lecteur connaît le rôle important dans les batailles nouvelles. A leur suite, enfin, s'avançait un nouvel aspirant aux honneurs de l'invulnérabilité, le *Keokuk*, bâtiment à double tour, appelé encore la batterie de Whitney. Les tourelles du *Keokuk* ne tournent pas ; et ses deux canons lancent, l'un des projectiles de 0m 28, et l'autre 0m 38 de diamètre. Il y eut un instant d'émotion indicible, dans l'âme des spectateurs, lorsque ces nouveaux bâtiments de guerre arrivèrent près du fort Sumter, avec leurs écoutilles fermées, sans signe de vie ni d'action à l'extérieur, mus par une force invisible et dérobant aux regards leur terrible artillerie. Tout à coup, un roulement prolongé de tambour appelle aux armes les défenseurs du fort Sumter : le croissant et le palmier de l'État de la Caroline du Sud s'élèvent côte-à-côte avec les étoiles et les banderolles de la jeune confédération ; le chant national de Dixie est apporté par la brise ; et le silence est subitement rompu par un salut des 13 canons du fort. En même temps, sur les quais de Charleston, sur le parapet de la batterie, au sommet de chaque maison ayant vue sur le port, s'entassent des spectateurs des deux sexes ; et pour l'amateur des rapprochements historiques, cette scène aurait pu rappeler l'émouvante description du Pirée, par Thucydide, lorsque la mal-

heureuse expédition de Sicile mit à la voile, chargée des prières et des vœux de toute la population d'Athènes, sans pouvoir échapper à l'inexorable destinée.

Vers le nord, dans la direction de Sullivan's Island, le *Ironsides* continue sa route jusqu'à 910 mètres environ de l'île : il se rapproche alors circulairement du fort Sumter ; et, ne pouvant aller plus loin, à cause de son fort tirant d'eau, il jette l'ancre. Au même instant, les batteries de Sullivan's Island lançent leurs « *messagers* » de fer contre les flancs de la frégate, et sont soutenues par les fortes décharges du fort Sumter. Le *Ironsides* leur répond, à 1,100 mètres de distance environ, par le feu de 7 canons. Une grêle de fer assaillit le front du fort qui regarde la mer ; les briques du parapet, violemment arrachées, volent dans l'espace ; chaque projectile s'ouvre un passage dans le mur du rempart et pénètre jusque dans l'intérieur. Mais on vit alors que la puissance de ces énormes globes de fer avait été considérablement exagérée, et qu'elle était moins redoutable qu'on se l'était imaginé. On assure que la pénétration du boulet, dans le mur du fort, ne dépassait pas 0^m 50 ; et que la surface de la maçonnerie de briques, ébranlée par chaque projectile, ne s'étendait pas à plus de 0^m 75 de rayon.

Le *Ironsides* ayant jeté l'ancre, ses légers com-

pagnons se tenaient bravement tout près du fort, contre lequel, désespérant d'entamer les batteries de sable de Sullivan's and Morris Islands, ils dirigaient toute leur action. Le plus hardi de tous, le *Keokuk*, n'ayant qu'un faible tirant d'eau, s'approcha à moins de 820 mètres du fort. Celui-ci, de concert avec les canons des deux îles, concentre aussitôt son feu sur ce téméraire assaillant ; mais on croit que le *Keokuk* reçut le *coup de grâce* d'un canon de Brooke, officier de la Confédération. Ce canon sortait de Tredegar Works, fonderie de la Confédération, à Richmond. Le capitaine Brooke est connu depuis longtemps dans la marine, comme l'inventeur d'un appareil de sondage pour les profondeurs d'eau considérables. Nous espérons faire connaître prochainement le canon de Brooke dont le succès à Charleston a elevé la réputation au-dessus des meilleurs engins connus. Des expériences suivies pendant quatre jours, aux environs de cette ville, sur un canon de Brooke, ont montré qu'à 233 mètres de distance, un projectile pesant 54 k. $^1/_2$, lancé avec 9 k. de poudre, pénétrait de 0^m 20 dans un bordage de fer et de 0^m 56 dans une cuirasse de chêne. La manœuvre de ce canon est très-lente et graduelle ; il lui suffit, pour se retourner, d'un espace de 10 mètres environ ; de sorte que, pour chaque canon, prenant une longueur d'environ 3 mètres, l'amplitude du pointage

est de $^1/_8$ de circonférence. L'efficacité des projectiles en fer forgé, unis et polis comme une lame de couteau, est hautement reconnue.

On sait que dans la matinée du 8 avril, le *Keokuk* coula, non loin de Morris Island : que le même jour, un des *Monitors* d'Ericsson fut remorqué jusqu'à Port-Royal dans un état déplorable ; et qu'après l'action, les pompes de l'*Ironsides* travaillèrent jour et nuit. L'inégalité de force, entre l'attaque et la défense, est démontrée d'ailleurs par ce fait, qu'en moins de 3 heures les confédérés lancèrent plus de 2,000 projectiles, dont 600 au moins atteignirent les bâtiments fédéraux, tandis que ces derniers ne tirèrent pas, selon toute apparence, plus de 200 coups. Cela justifie la remarque, formulée antérieurement par l'amiral Dupont, que le gouvernement fédéral, dans la construction de ses nouveaux et fantastiques vaisseaux, cuirassés de fer, avait oublié de forger également des hommes de fer, pour le service. L'expérience a prouvé surabondamment que chaque projectile de l'un des *Monitors* est beaucoup plus dangereux pour les servants que pour l'ennemi. La détonation et l'ébranlement de si énormes pièces renfermées en un si petit espace, le choc transmis au vaisseau, produisent chez les hommes un abattement si complet, qu'il est impossible de tirer un second coup avant 20 minutes. D'un autre côté, le

fracas produit sur la couverture extérieure de ces vaisseaux, par la chute verticale, rasante ou directe des projectiles de toute espèce, excite une angoisse si vive, que quiconque l'a éprouvée, refuse de s'y exposer de nouveau.

Pour conclure, on peut affirmer que l'empirisme irréfléchi, qui est le caractère distinctif des Anglo-Américains, a abouti, en ce qui concerne les cuirasses métalliques, à l'insuccès que tout homme froid, sage et expérimenté lui avait prédit dès l'origine. On compte par douzaine les marins qui déclarent ouvertement que les vieux vaisseaux de guerre en bois, aujourd'hui hors de mode, auraient fait plus de mal au fort Sumter, avec moins d'avaries pour eux-mêmes, que ces prodiges de fer des Yankees. Si, à 820 mètres, le *Keokuk* a pu être coulé et à 1,100 mètres le *Ironsides* être criblé au point de ne plus tenir que par un flanc ; si les *Monitors* d'Ericsson ont pu être endommagés à un degré qui ne sera peut-être connu que dans plusieurs mois, mais qui a dû atteindre une proportion considérable ; quel serait donc le sort de pareils vaisseaux dans une bataille navale?

Il est évident que si l'escadre fédérale, réduisant au silence le fort Sumter, avait pu s'avancer vers les autres batteries, l'intention de l'ennemi eût été d'occuper une position, à l'embouchure des deux rivières de Cooper et de Wando, appelée

Hobcaw-Point, d'où Charleston même eût pu être bombardée, et où des troupes fédérales auraient pu parvenir, par la route allant de Bull's Bay vers l'anse septentrionale du port de Charleston. Mais on peut affirmer qu'une pareille tactique, de la part des fédéraux, eût dégénéré en aventure pleine de périls. Les abords de Charleston sont fortifiés, sur la plupart des points, et bravent toute attaque. Le temps perdu par les fédéraux en préparatifs d'engins mécaniques, à défaut du courage guerrier (*bulldog courage*, sic), a permis à leurs adversaires d'environner Chaleston, Savannah, Mobile, Wilmington, Vicksburg. Port-Hudson et Richmond d'imprenables fortifications, défendues par des soldats courageux, qui n'ont rien à redouter des mercenaires de M. Lincoln.

(*Times*, 2 juin). — Les consolidations intérieures et la pose des plaques de la cuirasse de la *Calédonie*, à Woolwich, se poursuivent avec plein succès. Hier, l'opération du cintrage des plaques de flanc, qui exige la chaleur rouge, a été effectuée d'une manière parfaite au moyen de nouveaux appareils, que l'on mettait à l'essai. Les « *connings towers* » élevées sur le gaillard d'arrière, d'après les données de M. Turner, ingénieur en chef des ateliers de la marine, sont terminées. Elles ont pour but de repousser l'attaque d'une troupe d'abordage. Elles se composent d'une chambre munie

de meurtrières, qui s'ouvrent à volonté. et qui permettraient à des tirailleurs de défendre tous les points du vaisseau. Les tours sont construites en bois de teak, de 0m 46 d'épaisseur, et couvert d'une enveloppe de bois, de 0m 115 d'épaisseur, qu'on a peinte en noir, pour représenter les plaques de la cuirasse destinée à les protéger, à leur retour du premier voyage en mer. La jauge du vaisseau est de 4,110 tonneaux, son entrepont aura 2m 00 de hauteur, et sa ventilation sera supérieure à celle de tout bâtiment connu. Les crochets de suspension des hamacs sont construits sur un nouveau principe, adopté par M. Turner, et appliqué seulement à la *Calédonie*. Ces crochets, fixés à chaud et rivés avec les poutres, sont ainsi tout à fait fixes et à l'abri des inconvénients résultant du balancement des hamacs pendant la nuit.

Le bâtiment à hélice la *Colombine*, de 4 canons, et de 680 tonneaux, a subi récemment les épreuves de sa machine. Voici les résultats obtenus :

Vitesse moyenne, 9 1/2 nœuds à l'heure;

Nombre maximum de tours d'hélice, 107 tours par minute ;

Nombre moyen de tours d'hélice, 103 1/2 par minute ;

Pression de la vapeur, par pouce carré 10 k. 35

Quatre courses d'un mille ont été faites à demi-vapeur, et ont donné ;

Vitesse de marche, 7. 541 nœuds à l'heure;

Nombre maximum de révolutions, 88 par minute;

Nombre moyen de révolutions, 80 ½ par minute;

Pression de la vapeur, par pouce carré, 9 k. 00.

La *Colombine* est mue par une machine à vapeur horizontale de 150 chevaux de force nominale. Elle est munie d'une hélice de Griffith, dont la longueur est de 4m 00, et le diamètre de 3m 05, et qui a été fournie par la compagnie des fonderies de Greenock. Pendant l'essai, la machine a marché d'une manière très-satisfaisante, sans produire de secousse ni mouvement de lacet. Le bâtiment est muni du gouvernail breveté de Lumley, dont l'essai, sur la *Colombine*, a justifié les avantages constatés antérieurement, et qui vont jusqu'à 50 p %. Vendredi dernier (29 mai), la *Colombine* a été soumise à la course circulaire, à moyenne et à grande vitesse. A grande vitesse, le gouvernail étant incliné à 21 ½ le parcours d'un cercle de 216 mètres de diamètre a duré 4 minutes 12 secondes; sous l'angle de 22° ½, le parcours d'un cercle de 290 mètres de diamètre a duré 4 minutes 29 secondes. A moyenne vitesse, sous l'angle de 25° le diamètre du cercle étant de 183m, le parcours a duré 4 minutes 27 secondes; enfin, sous l'angle de 21° ½, le diamètre étant de 290 mètres, le circuit a été parcouru en 4 minutes 59 secondes. Cet essai

est considéré comme très-satisfaisant. La *Colombine* commandant. Le H Ward, est chargée du service de la flotte dans le canal.

Times, 3 juin. — On peut prédire avec certitude que l'*Achille* pourra être mis à flot vers le mois de septembre, en avance de 3 ou 4 mois sur les délais primitivement fixés. Déjà 150 plaques, soit moitié de sa cuirasse, sont mises en place. Celles des sabords ont une épaisseur uniforme de 0m 11 ; et dans les parties les moins exposées, elles ont seulement de 0m 08 à 0m 10 d'épaisseur. Ces plaques proviennent des forges de Parkgate, Yorkshire, et sont faites de fer laminé, d'un travail plus facile, mais paraissant offrir les mêmes avantages que les plaques fabriquées au marteau-pilon.

Chaque plaque mesure 4m 60 de longueur, sur 1m 00 de largeur ; mais ces jours derniers, on en a reçu à l'arsenal quelques-unes de longueur excédant toutes celles usitées dans l'établissement. Elles ont subi toutes les épreuves ordinaires, sans donner trace de la moindre défectuosité. D'un autre côté, les scieries à vapeur ont été mises à l'œuvre pour débiter les pièces de teak, de 0m 40 d'épaisseur qui doivent être logées entre les plaques extérieures et intérieures de la cuirasse, avec lesquelles elles formeront un assemblage rigide. Jusqu'à nouvel ordre, les scieries travailleront exclusivement à cette préparation. A l'exception de

l'étrave et des côtes, une partie de ces pièces sont déjà en place. A bord de la frégate, l'activité n'est pas moindre que dans les chantiers du dehors. Des mécaniciens travaillent à compléter les compartiments, au nombre de 18, qui doivent êtres imperméables à l'eau : au moyen de ces chambres, *l'Achille* peut tenir la mer, même lorsqu'il est à moitié désemparé. Bientôt les plaques de fer du pont supérieur seront toutes rivées en place, et n'attendront plus que la garniture de bois ordinaire. Une machine à vapeur, installée sur ce pont, sert à faciliter le levage et le déplacement des grosses pièces. L'*Achille*, construit sur le modèle du *Warrior*, lui sera bien supérieur dans sa structure générale.

D'importantes expériences sur des plaques métalliques de dimensions variées, provenant d'usines anglaises ou étrangères, commencent aujourd'hui même à Portsmouth, et se poursuivront jusqu'à vendredi, 5 courant.

Nota. — Les nouvelles de la guerre des Etats-Unis ne sont pas entièrement conformes à la correspondance ci-dessus du *Times* du 1er juin. Cette correspondance est très-partiale en faveur de la cause du Sud.

Sceaux. — Typographie de E. Dépée.

TABLE DES MATIÈRES

Contenues dans le tome VI. — 5e Série.

DU

JOURNAL DES ARMES SPÉCIALES.

N° 4.

15 AVRIL 1863.

Planches.

No. 5.

15 MAI 1863.

Planches.

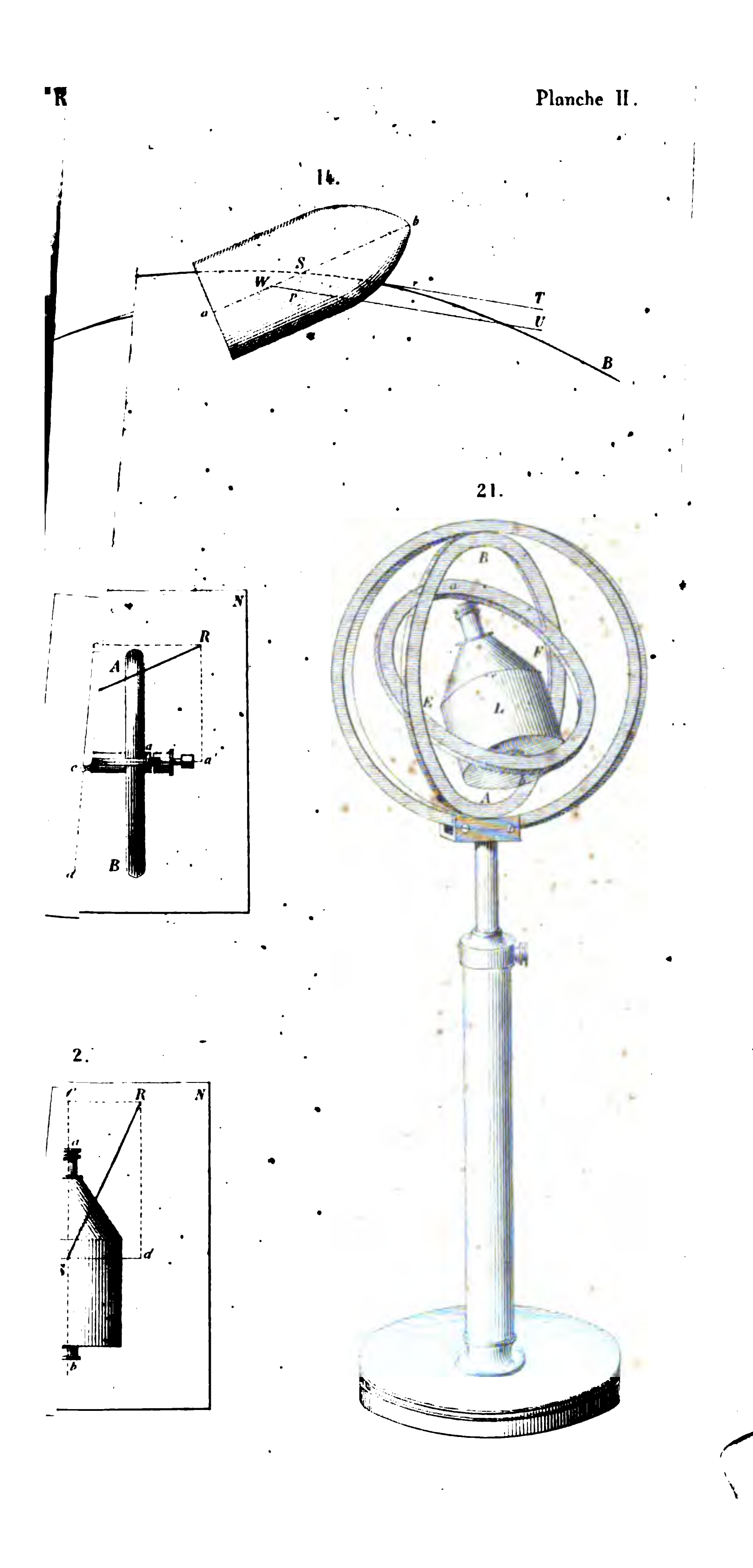
N° 6.

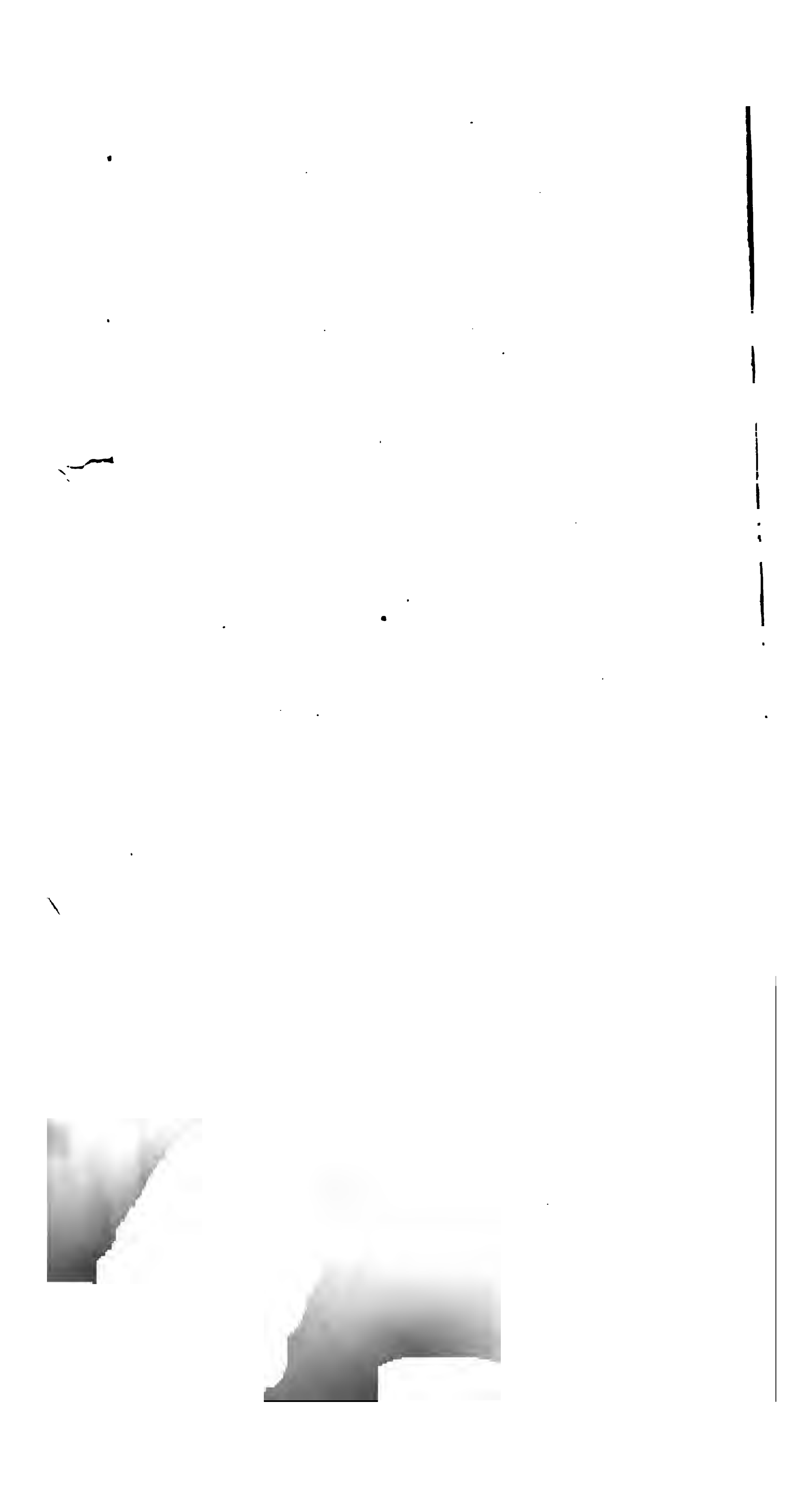
15 juin 1863.

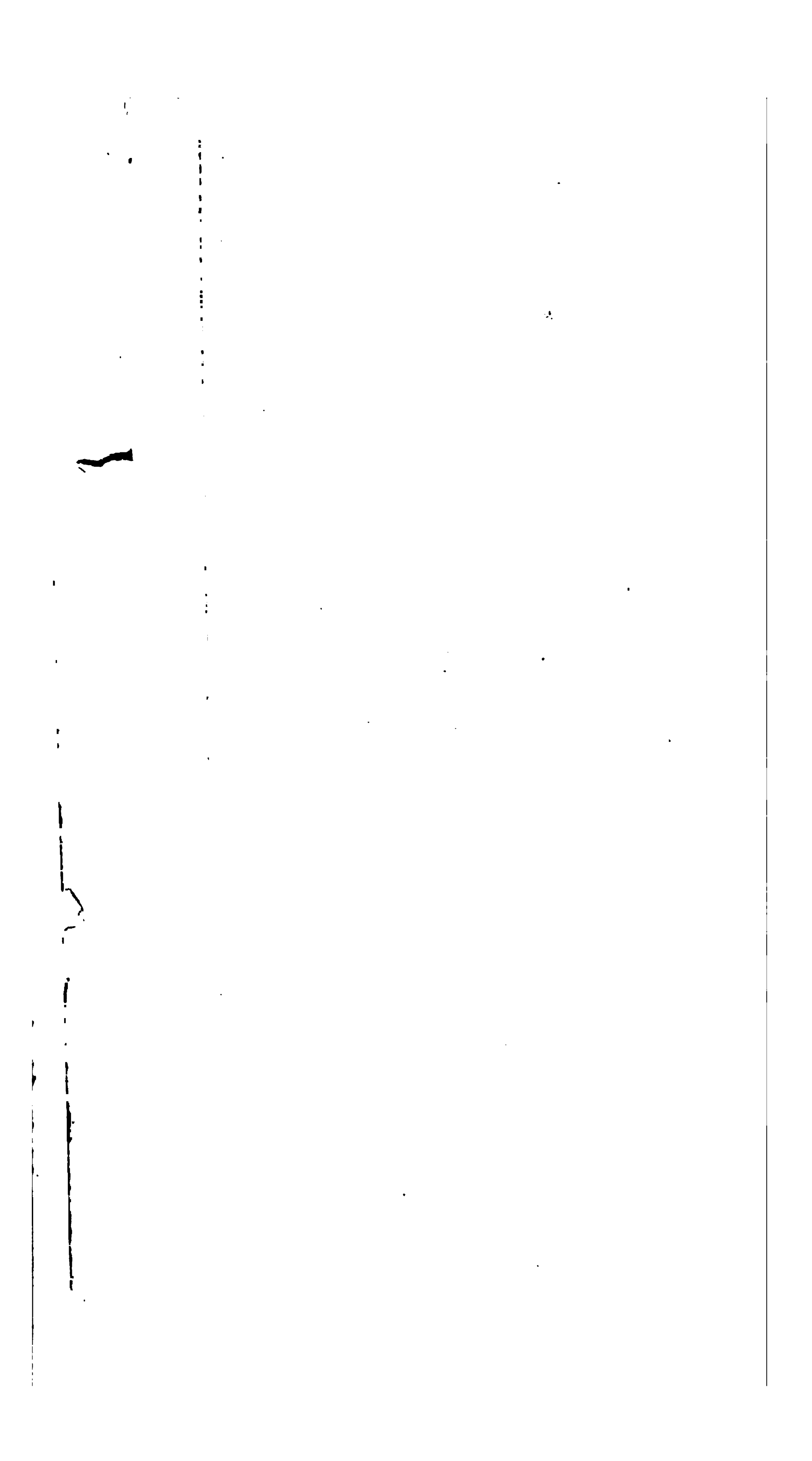
Planches.

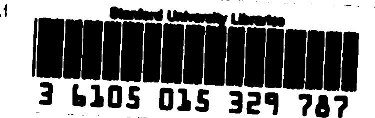
FIN DE LA TABLE DU TOME VI. — 5e SÉRIE.

Sceaux. — Imprimerie de E. Dépée.


14.
b
S
W
r
T
p
a
U
B
N
R
A
a
c
a'
d
B
21.
B
F
E
L
A
2.
R
N
a
d
b






Stanford University Libraries
3 6105 015 329 787

